

Linda Virtanen

Aurinkosähköjärjestelmä kokonaispalveluna

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

30.5.2017

Tekijä Otsikko	Linda Virtanen Aurinkojärjestelmä kokonaispalveluna
Sivumäärä Aika	38 sivua 30.5.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	teknologiajohtaja Juho Siitonen lehtori Timo Kasurinen
<p>Tässä insinöörityössä tutkittiin yrityksen näkökulmasta aurinkosähköjärjestelmän tuottamista kokonaispalveluna. Työssä keskityttiin verkkoon liitettäviin aurinkosähköjärjestelmiin. Työ koostuu kolmesta eri osiosta: aurinkosähkö ja markkinapotentiaalit, aurinkosähkön kustannukset, rahoitusmallit ja tuet sekä järjestelmän valinta ja mitoitus.</p> <p>Ensin työssä selvitettiin aurinkosähkoperusteet ja aurinkosähköjärjestelmän yleistymisen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi työ tarjoaa neuvoja järjestelmän suunnitteluun ja valintaan.</p> <p>Toisessa osiossa selvitetään järjestelmien komponenttien valinnan vaikutusta kustannuksiin. Samalla esitellään erilaisia rahoitusmalleja järjestelmille ja edellytykset investointituen saamiselle.</p> <p>Lopuksi työssä mitoitettiin Jyväskylässä sijaitsevaan toimistorakennukseen kolmea eri painotusmuotoa käyttäen aurinkosähköjärjestelmät. Laskelmilla selvitettiin järjestelmien kannattavuus eri sähkönhintaa käyttäen, investointituen vaikutukset ja järjestelmillä saadut hiilidioksidipäästöjen säästöt.</p> <p>Optimaalisin järjestelmä nimellisteholtaan esimerkkikohteeseen oli laskelmien perusteella 176,8 kWp. Kuitenkin tarkasteltaessa järjestelmien kannattavuutta elinkaarikustannusten perusteella, suurikokoinen 260 kWp -järjestelmä oli tuottavin laskelmien perusteella. Aurinkosähköjärjestelmät eivät ole vielä lyhyitä takaisinmaksuajoissa, mutta tulevaisuudessa järjestelmien hintojen laskiessa ja sähkönhinnan noustessa takaisinmaksuajat lyhenevät.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, uusiutuva energia, investointituki, rahoitusmallit

Author Title	Linda Virtanen Photovoltaic system as overall service
Number of Pages Date	38 pages 30 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructors	Juho Siitonen, Chief Technology Officer Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to study the production of photovoltaic systems, focusing on network-connected photovoltaic systems. The thesis looked into solar power, its market potential, its costs, financing models and subsidies, as well as selecting and sizing of photovoltaic systems.</p> <p>First, the basics of solar power and reasons for the increase in the number of photovoltaic systems were examined, as well as the matters that affect the design and choice of a system. After that, the costs of solar power, subsidies, and financing models were introduced, and the effect of component selection on costs was established. Furthermore, the conditions for getting investment aid, issues affecting the life-cycle-costs, as well as the financial models to finance the systems were studied.</p> <p>Finally, a photovoltaic system was designed for an office building. The profitability of three alternative systems was calculated with different electricity prices. The effects of investment subsidies were included in the calculations, as well as the savings in carbon dioxide emissions.</p> <p>According to the calculations, the optimal system is the 176.8 kWp one. However, looking at the life-cycle-cost based profitability of the systems, a 260 kWp system was the most productive one. In the future, the payback time is reduced due to decreasing prices of solar systems and increasing price of electricity.</p>	
Keywords	solar power, photovoltaic system, renewable energy, investment subsidy, financing models

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähkö ja markkinapotentiaalit	2
2.1	Aurinkosähkö	2
2.2	Markkinapotentiaalit	7
2.3	Aurinkosähköjärjestelmät	8
3	Aurinkosähkön kustannukset, rahoitusmallit ja tuet	15
3.1	Elinkaarikustannukset	15
3.2	Rahoitusmallit	17
3.3	Investointituet	18
4	Järjestelmän valinta ja mitoitus	20
4.1	Lähtötiedot	20
4.2	Laskelmat	22
4.2.1	260 kWp:n järjestelmä	22
4.2.2	10,4 kWp:n järjestelmä	25
4.2.3	176,8 kWp:n järjestelmä	28
4.3	Tulokset	31
5	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

Lyhenteet

CIGS	Copper indium gallium selenide. Kupari-indium-gallium-diselenidi.
Mono-Si	Monocrystalline silicon. Yksikiteinen pii.
Poly-Si	Polycrystalline silicon. Monikiteinen pii.
SFS 6000-7-712	Pienjänniteasennukset. Osa 7-712: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät.
SFS-EN 50438	Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille.
SFS-EN 61724	Valosähköisenjärjestelmän suorituskyvyn valvonta. Ohjeita mittauksiin, datan siirtoon ja analysointiin.
SFS-EN 62446	Sähköverkkoon kytketyt PV-järjestelmät. Minimivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolle, käyttöönottotesteille ja tarkastuksille
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö.
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.
UPS	Uninterruptible power supply. Katkeamaton tehonlähde.
Wp	Watt-peak. Aurinkopaneelin nimellisteho.

1 Johdanto

Tässä insinöörityössä tutkitaan aurinkosähköjärjestelmän mahdollisuuksia kokonaispalveluna yritykselle. Työ jakaantuu seuraaviin osioihin: aurinkosähkö ja markkinapotentiaalit, aurinkosähkön kustannukset, rahoitusmallit ja tuet sekä järjestelmän valinta ja mitoitus. Työn pääpainona on selvittää aurinkosähköjärjestelmien potentiaalit suuren yrityksen näkökulmasta.

Aurinkosähkön käyttö on lisääntynyt maailmalla ja tulee lisääntymään Suomessakin seuraavien vuosien aikana. Vaikuttavat tekijät tähän ovat aurinkosähköjärjestelmien teknologinen kehitys, kustannusten lasku sekä kuluttajien kiinnostuksen herääminen uusiutuvan energian käytöstä. Yrityksen näkökulmasta tämä tarkoittaa kasvavia markkinapotentiaaleja. Markkinapotentiaaliin vaikuttaa yrityksen kannalta myös, mihin järjestelmien kokoluokkaan keskitytään. Tässä työssä keskitytään verkkoon liitettäviin keskikokoisiin järjestelmiin, jotka sijoitetaan pääasiassa kiinteistöjen katolle.

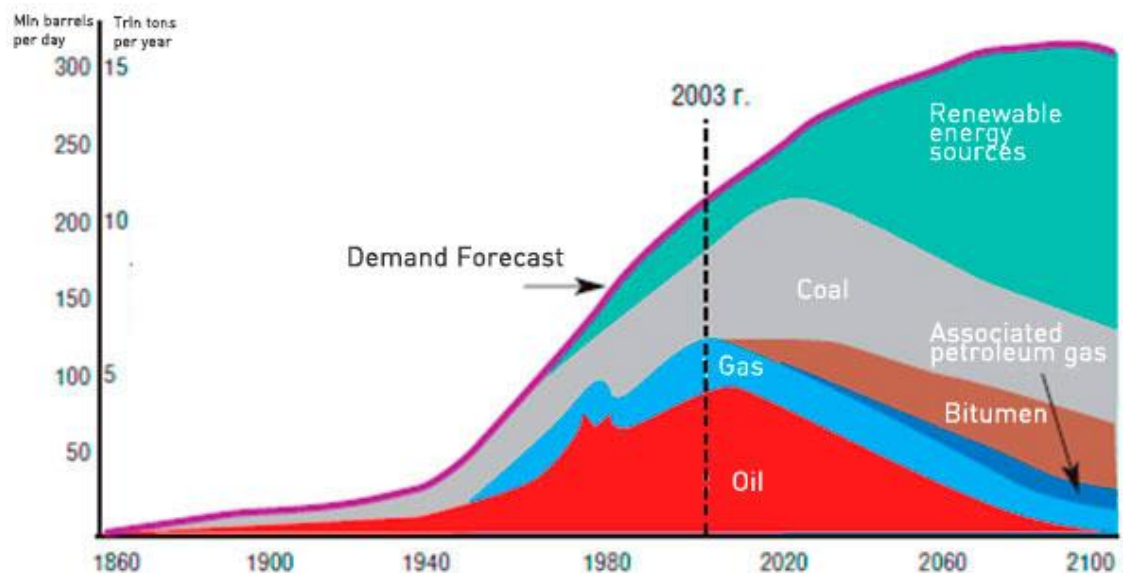
Aurinkosähköjärjestelmä yksinkertaisuudessaan sisältää aurinkopaneelit, invertterin, kaapelit sekä kattokiinnitysjärjestelmän tai vastaavasti maahan asennettavat telineet. Pääasiassa aurinkopaneeleina käytetään monikidepaneeleita edullisemman hinnan vuoksi, mutta tehokkaampia ja hintavampia yksikidepaneeleita käytetään myös. Aurinkosähköjärjestelmässä invertteri muuttaa aurinkopaneeleista tulevan tasasähkön vaihtosähköksi, jotta sähköä voidaan käyttää valtakunnanverkossa. Inverttereihin on kehityksen myötä lisätty erilaisia älykkäitä järjestelmiä tukevia ominaisuuksia. Älykkään järjestelmän ansiosta pystytään esimerkiksi tuottamaan normaalia järjestelmää tehokkaammin sähköä.

Työssä selvitetään aurinkosähköjärjestelmien investointeihin vaikuttavia tekijöitä. Työssä selvitetään minkälaisia tukia voi saada järjestelmien rakentamiseen, mitkä ovat keskimääräiset elinkaarikustannukset sekä millaisia rahoitusmalleja on järjestelmien rahoittamiseen. Nykyisten tukien sekä järjestelmien elinkaarikustannuksien myötä aurinkosähköjärjestelmillä on vielä pitkä takaisinmaksuaika. Kuitenkin kuluttajilla on rahoitusmallista riippuen mahdollista hyötyä järjestelmästä heti valmistumisen jälkeen.

2 Aurinkosähkö ja markkinapotentialit

2.1 Aurinkosähkö

Sähköä pidetään yhä enemmän itsestään selvyytenä, mutta tulevaisuuden energialu-paukset tulevat koettelemaan sähköntuotantomuotoja. Tästä syystä ilmastoystävälliset eli uusiutuvat energiantuotantomuodot saavat sijaa markkinoille, ja aurinkosähkö on yksi näistä tuotantomuodoista. Muita ilmastoystävällisiä tuotantomuotoja ovat tuuli- ja vesi-voima sekä biopolttoaineet. Energiankulutus on noussut vuosikymmenet jo huimaa vauhtia maapallolla, ja ennusteena alla olevan kuvan 1 mukaisesti uusiutuvien energia-tuotantomuotojen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa suurimmaksi tuotantomuodoksi.

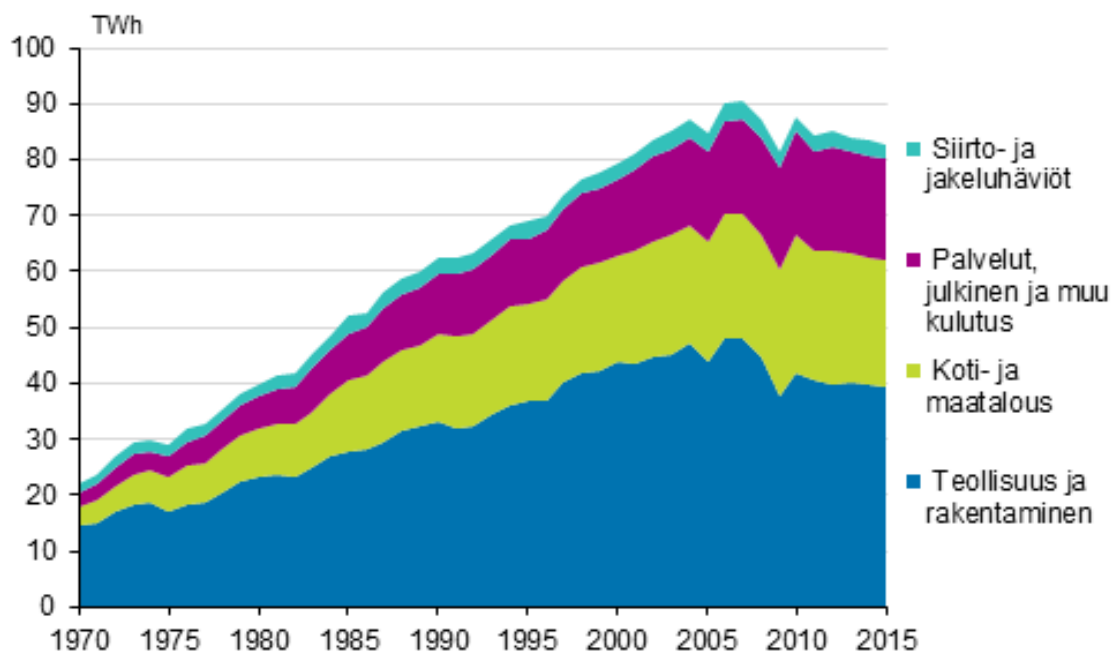


Kuva 1. Ennuste maailman energiankulutuksesta (1).

Kuvassa ydinvoima on merkitty liilalla värillä. Energiantuotantomuotojen tulevaisuuden näkymän muutokseen on monia eri syitä ja yksi näistä syistä on Pariisin ilmastopöytäkirja, joka solmittiin vuonna 2015 ja sopimus astui voimaan vuonna 2016. Sopimukseen osallistuu melkein kaikki maat ja sillä pyritään pysäyttämään ilmastonmuutos. Toteutumista tarkastellaan viiden vuoden välein ja ensimmäinen tarkastelu suoritetaan vuonna 2023. Muutoksen pysäyttämiseksi sopimuksessa on säädetty päästötavoitteet sekä sitoumukset, jotta maapallon keskilämpötilan nousu saataisiin rajattua 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämän lisäksi sopimuksella pyritään keskittämään rahavirrat tukemaan ilmastoystävällistä kehitystä. (2)

Vuonna 2014 kansainvälisen energiajärjestön mukaan maapallolla kului sähköä yhteensä 21963 TWh:n verran. Viisi suurinta sähkönkuluttaja maata olivat Kiina 5357,55 TWh, Yhdysvallat 4137,10 TWh, Intia 1042,33 TWh, Japani 995,26 TWh ja Venäjä 949,59 TWh. Suomessa sähköä kulutettiin samaisena vuonna 83,29 TWh:n verran. (3)

Suomessa sähkönkulutus on noussut nelinkertaiseksi verrattuna vuoteen 1970. Yleisesti sähkönkulutuksen nousun syitä ovat mm. väestönkasvu, kuluttajien sähkönkulutustottumuksien muuttuminen sekä sähkötuotteiden lisääntyminen. Sähkönkulutuksen nousua ei pystytä hidastamaan tarpeeksi, joten kannattavampi tapa on keskittyä ilmastoystävälliseen sähköntuotantoon. Tilastokeskuksen kuvasta 2 ilmenee, kuinka sähkönkulutus on noussut Suomessa vuodesta 1970 vuoteen 2015.

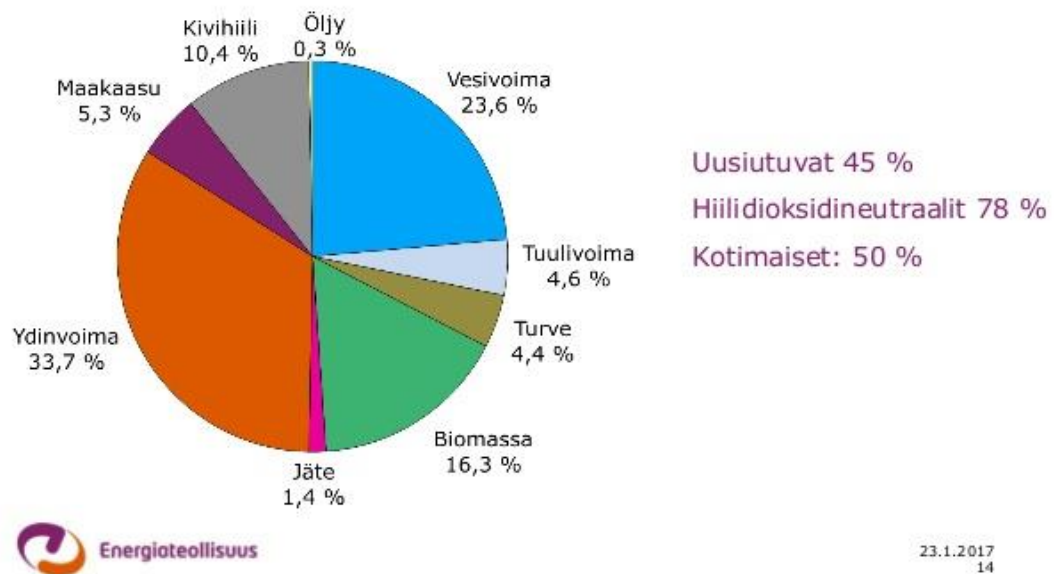


Kuva 2. Sähkönkulutus Suomessa sektoreittain 1970–2015 (4).

Melkein puolet vuoden 2015 82,5 TWh sähkönkulutuksesta muodostui kuvan 2 mukaisesti teollisuudesta ja rakentamisesta, jossa aurinkosähkölle on hyvä markkinapotentiaali. Teollisuusrakennukset ovat usein suurenkokoisia, ja niissä on paljon katto- ja/tai seinäalaa, johon aurinkopaneeleita voidaan asentaa. Uudisrakentamisessa aurinkopa-

neeleita voidaan puolestaan käyttää rakennuselementtinä ja saneerauskohteissa paneeleilla voidaan korvata osa elementeistä. Jotta Suomen sähköntuotanto ja -kulutus olisivat tasoissa, täytyisi kulutusta vähentää puolet siitä, mitä teollisuuteen ja rakentamiseen kuuluu. Energiateollisuuden Energiavuosi 2016 – Sähkö -esityksen mukaan Suomessa sähkönkulutus vuonna 2016 oli 85,1 TWh. Sähköntuotanto puolestaan oli 66,1 TWh, joka jakautui kuvan 3 mukaisesti. (5)

Sähköntuotanto energialähteittäin 2016 (66,1 TWh)



Kuva 3. Sähköntuotanto energialähteittäin Suomessa 2016 (5).

Kuvasta 3 voidaan havaita, että uusiutuvien energiamuotojen osuus oli 45 %, ja suurimpana yksittäisenä energiantuotantomuotona oli ydinvoima 33,7 prosentilla. Aurinkosähkön tuotanto on Suomessa vielä sen verran pientä, että sen tuotannon osuutta ei ole laitettu yllä olevaan kuvaan.

Aurinkosähköä tuotetaan auringon muodostamasta säteilystä, joka koostuu hiukkasista eli fotoneista ja ne säilyttävät aurinkoenergiaa. Aurinkosäteilyä tulee auringosta ilmakehän yläosaan keskimäärin $1\,368\text{ W/m}^2$, ja tätä lukua pidetään aurinkovakiona. Kuitenkin ilmakehän heijastuksen ja absorboinnin syystä kirkkaalla säällä säteily määrä maanpinnalle laskee 60 %, jolloin maanpinnalle tuleva säteily on $800\text{--}1000\text{ W/m}^2$. (6) Helsingissä vuotuinen säteily vaakasuoralle pinnalle on 980 W/m^2 ja Sodankylässä vastaavasti 790

W/m² (7). Tieteiskirjailijan Ramez Naamin mukaan aurinko tuottaa 14,5 sekunnissa maahan sen määrän säteilyä, kuin koko ihmiskunta käyttää vuorokaudessa. Toisin sanoen 88 minuutissa saataisiin ihmiskunnalle kokonaiseksi vuodeksi sähkö, mikäli kaiken auringon säteilyn saisi hyödynnettyä. (8)

Kansainvälisen energiasäätiön World Energy Council:n mukaan aurinkosähkökapasiteetti vuoden 2015 lopussa maapallolla oli 227 GWp, ja se tuotti yhden prosentin siitä, mitä maailmanlaajuisesti sähköä vuonna 2015 kulutettiin. Suurimpana aurinkosähkökapasiteetin asennuksissa on Saksa, joka on johtanut siinä jo vuosia. Saksassa käytetään mm. aurinkosähkönmyyntiin FIT-mallia (Feed-in tariff) eli syöttötariffia. Syöttötariffissa sähkön tuottajalle taataan tietty myyntihinta tuotetusta sähköstä, vaikka markkinahinnat menisivät tämän summan alle. Mikäli markkinahinnat ovat alhaiset, maksavat sähkön kuluttajat markkinahinnan ja taatun hinnan erotuksen. Tämä on yksi vaikuttava tekijä, minkä vuoksi Saksassa sähkön hinta on noussut ja näin ollen samalla tehnyt aurinkosähköstäkin kannattavampaa. Syöttötariffilla pyritään tukemaan uusiutuvien energiamuotojen kannattavuutta, ja Suomessa tämä on käytössä tuotantotuen muodossa. Suomessa tuotantotuki on käytössä tuuli-, biokaasu sekä puupolttoainevoimaloissa. Aurinkosähkön lisäämisestä syöttötariffin piiriin on keskusteltu erittäin vilkkaasti Suomessa, ja luultavimmin aurinkosähkölle tulee syöttötariffi lähivuosina, jotta saadaan tuettua aurinkojärjestelmien kannattavuutta. (8)

Saksassa alle 10 MWp:n järjestelmistä sähköntuotosta maksetaan keskimäärin 6,90 snt/kWh, kuitenkin vähintään 6,26 snt/kWh, kun Suomessa tuotetusta sähköstä saa keskimäärin vain 2 snt/kWh. Suomessa verkkoyhtiöt veloittavat yleensä tuotetun sähkönsiirrostsa sähkömarkkina-asetusten mukaisen maksimäärän, joka on 0,07 snt/kWh. Tämä siirtomaksu on kuitenkin noin 50 kertaa halvempi kuin ostetun sähkön siirtomaksu. Esimerkiksi 1 000 kWh:n siirto sähköverkkoon maksaa myyjälle 0,70 €. Siirtomaksu maksetaan sähkönsiirtomaksulla, johon lisätään vielä arvonlisävero. (9) Jotkut verkkoyhtiöt ottavat vielä välityspalkkion myydystä sähköstä. Esimerkiksi Vattenfall perii välityspalkkiona 0,30 snt/kWh (10).

Saksan korkean sähkön myyntihinnan vuoksi aurinkosähköjärjestelmillä on lyhyet takaisinmaksuajat, ja tämän myötä järjestelmien asennus on vauhdittunut. Saksan jälkeen johtavina maina aurinkosähkökapasiteetin asennuksissa on Kiina, Japani, Italia sekä Yhdysvallat. Vaikka Saksassa asennetaan eniten kapasiteetiltaan aurinkosähköä, johtaa Kiina kuitenkin aurinkosähköasennuksissa. Vuonna 2016 aurinkosähköasennuksissa

Kiinan osuus oli 23 %. Muita johtavia maita olivat Yhdysvallat 14 %, Japani 14 %, Saksa 13 %, Italia 6 % ja muu maailma 30 %. (11)

Suomessa toistaiseksi suurin aurinkovoimala on energiayhtiö Helen Oy:n omistama Kivikon aurinkovoimala, joka valmistui huhtikuussa vuonna 2016. Voimalassa on 2 992 paneelia ja sen vuosituotanto on noin 700 MWh. Kuvassa 4 näkyvät Kivikon voimalan aurinkopaneelit, jotka sijaitsevat hiihtohallin katolla.



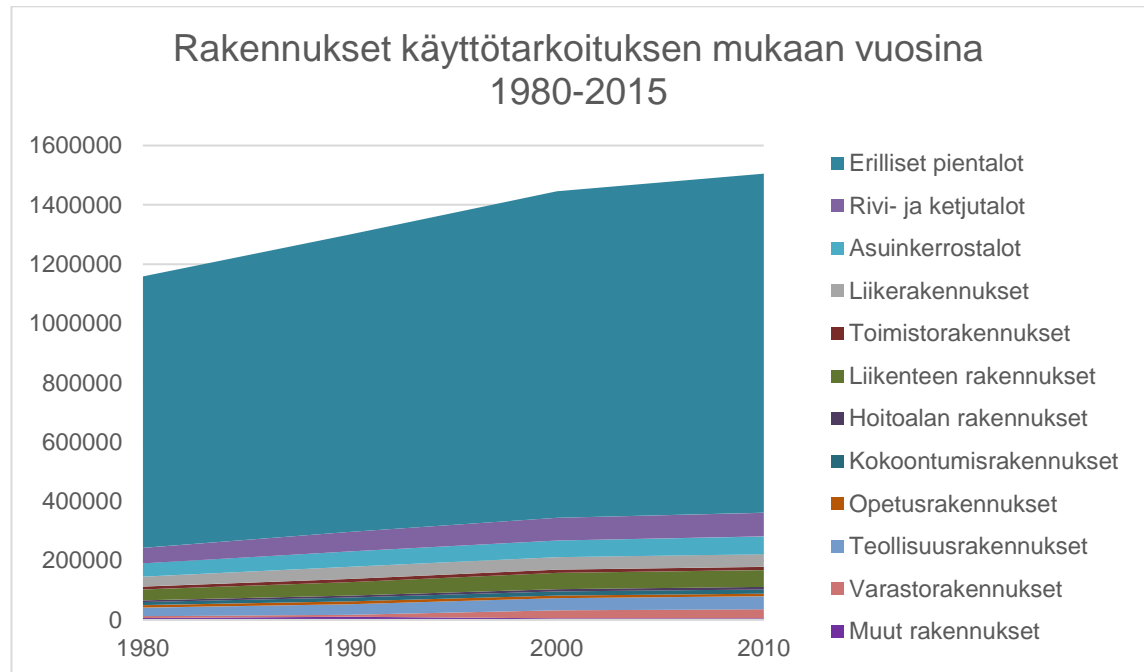
Kuva 4. Suomen suurin aurinkovoimala Kivikossa (12).

Tällä hetkellä on suunnitteilla Raumalle Suomen suurin aurinkovoimala, joka olisi teholtaan 8,7 MWp ja paneeleita voimalaan asennettaisiin 26 800 kappaletta. Voimalan rakennuskustannusten arvioidaan olevan 11–12 miljoonaa euroa. (13)

Lappeenrannan teknillisen yliopiston alueelle asennettiin vuonna 2013–2014 teholtaan yhteensä 220 kWp:n edestä aurinkosähköä. Aurinkopaneeleita on asennettu katoille, seinille, maahan sekä autokatoksina ja näitä käytetään tuotannon lisäksi tutkimus- sekä opetuslaboratorioina. (14) Suomen suurin kiinteistökohtainen asennettu aurinkovoimala on tällä hetkellä Vantaan Tammiston K-Citymarketin katolla. Huipputeholtaan voimala on 503 kWh, ja siinä on lähes 1 600 paneelia. (15) Tammiston K-Citymarket on toiminut suunnannäyttäjänä isoille kiinteistöille, ja vastaavia järjestelmiä on lähivuosina tulossa reippaasti.

2.2 Markkinapotentiaalit

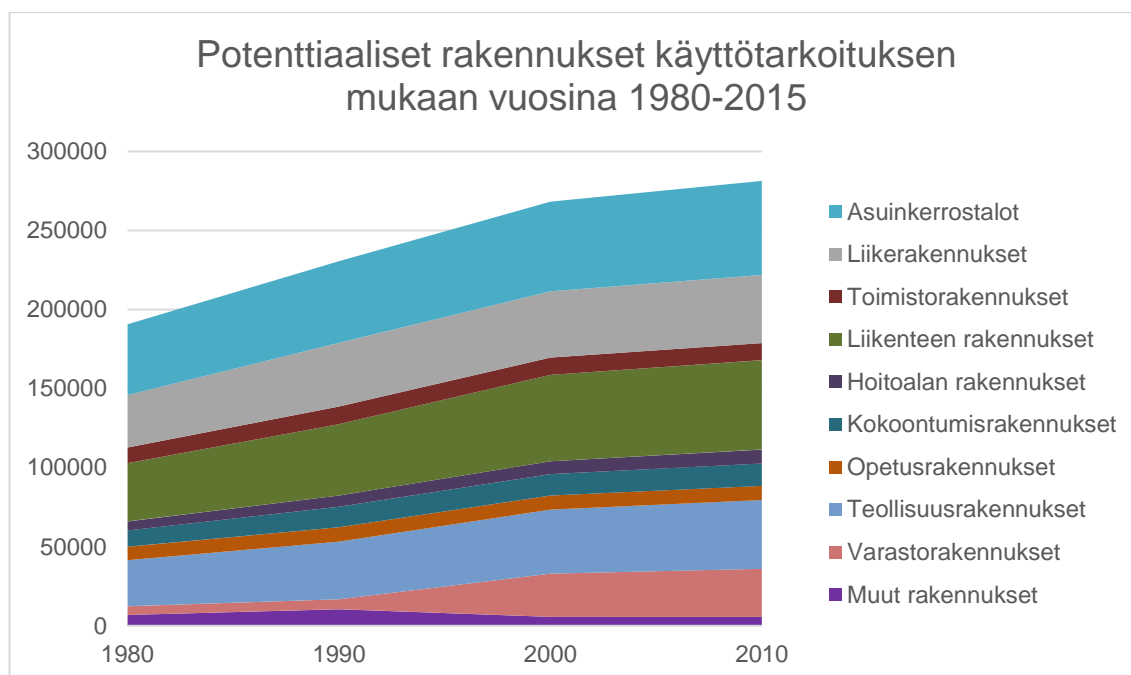
Tilastokeskuksen tietojen perusteella Suomen rakennuskanta on kasvanut tasaiseen tahtiin vuosien 1980–2015 aikana kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Rakennukset käyttötarkoituksen mukaan vuosina 1980–2015 (16).

Näihin tilastoihin ei ole laskettu kesämökkejä, maatalous- tai muita talousrakennuksia. Vuonna 1980 Suomessa rakennuksia oli yhteensä noin 935 000, ja vuonna 2015 määrä oli kasvanut noin 1,5 miljoonaan kuten kuvasta 5 nähdään. Erilliset pientalot olivat vuonna 2015 koko rakennuskannasta 85 %.

Keskittyessä suurempiin aurinkosähköjärjestelmiin potentiaalinen rakennuskanta jakautuu kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6. Potentiaaliset rakennukset käyttötarkoituksen mukaan vuosina 1980–2015 (16).

Tällä keskittymällä rakennuskanta oli 137 000 vuonna 1980 ja nousi vuonna 2015 281 000:een. Potentiaalinen kanta kasvaa keskimäärin neljällä tuhannella rakennuksella per vuosi. Tämä tarkoittaa ainakin vielä toistaiseksi hyvää markkinapotentiaalia, kun huomioidaan, että aurinkosähköjärjestelmiä voidaan asentaa uusiin sekä vanhoihin rakennuksiin. (16)

2.3 Aurinkosähköjärjestelmät

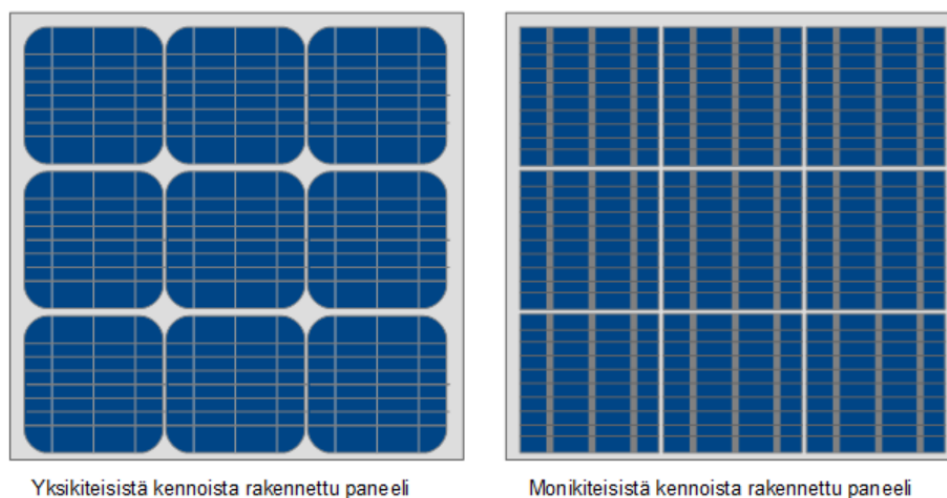
Auringonsäteilyn osuessa paneelille fotonit luovuttavat auringonenergiansa paneelin elektroneille. Elektronit puolestaan muodostavat aurinkopaneeleihin tasasähkövirran fotoneilta saadun energian avulla, ja paneeleilta syntynyt tasasähkö kuljetetaan virtajohtimien kautta invertteriin. Suomessa kodin elektroniikka käyttää yleensä vaihtosähköä, joten invertterillä tasasähkö muutetaan vaihtosähköksi. Aurinkosähköjärjestelmän jännitteeseen ja virtaan vaikuttaa aurinkopaneelien tyyppi, määrä sekä kytkeminen sarjaan ja/tai rinnan. Sarjakytkennällä aurinkopaneelien jännitteet summautuvat, ja etuna on korkeampi siirtojännite, joka johtaa pienempiin sähkönsiirtohäviöihin. Rinnankytkennällä puolestaan paneelien virrat summautuvat, ja etuna on, ettei yhden paneelin varjostus

haittaa muiden paneelien toimintaa. Tämä tarkoittaa, että rinnankytkettyjä paneeleita voidaan asentaa eri suuntauksiin toisin kuin sarjakytkennässä, joissa paneelien tulee olla suunnattu samalla tavalla. (17)

Aurinkosähköjärjestelmän kytkentään on kolme erilaista tapaa. Suurissa aurinkosähköjärjestelmissä järjestelmä kytketään sähköverkkoon, jolloin ylituotettu sähkö voidaan myydä. Toisena kytkentätapana sähkö varastoidaan akkuihin. Tällaista tapaa käytetään esimerkiksi kesämökillä, jossa mökki voi sijaita sähköverkon ulkopuolella ja sähkönkulutus on pääasiassa kesällä, jolloin järjestelmä tuottaa parhaiten. Kolmantena tapana on paneeleilta suora sähkönkäyttö. Näitä käytetään esimerkiksi kannettavissa puhelimenlaatureissa, joissa sähköistys tulee aurinkopaneelistä.

Aurinkopaneelien materiaalina käytetään yleisimmin piitä sen hyvän kestävyys- ja hyötysuhteen ansiosta. Käytetyimpiä pii-aurinkopaneeli tyyppejä ovat monikidepaneelit eli poly-Si-paneelit sekä yksikidepaneelit eli moni-Si-paneelit. Yksikidepaneelissa paneelin kenno koostuu nimensä mukaisesti yksikiteisestä piistä. Tämän ansiosta yksikidepaneelien hyötysuhteet ovat noin 16–24 %, jotka ovat hieman paremmat kuin monikidepaneelin noin 14–18 %:n hyötysuhteet.

Vaikka yksikidepaneelit ovatkin hyötysuhteeltaan parempia, niin monikidepaneeleita käytetään enemmän kuin yksikidepaneeleita. Tähän syynä on paneelien hintaero, sillä monikidepaneelit ovat merkittävästi halvempia kuin yksikidepaneelit. Yksikidepaneelin erottaa monikidepaneelistä sen kennojen kulmien pyöreiden ansiosta seuraavalla sivulla olevan kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Yksikidepaneeli ja monikidepaneeli (18).

Uuden teknologian myötä markkinoille on tullut myös kolmas paneelityyppi, jossa käytetään ohutkalvotekniikkaa. Kennojen materiaaleina näissä voidaan käyttää mm. amorfista piitä, kupariindiumdiselenidiä, kadmiumtelluuria ja galliumarsenidia. Näitä paneeleita kutsutaan ohutkalvo-, aurinkokalvo- tai filmipaneeleiksi taipuisan olomuotonsa takia ja paneelien hyötysuhteet näinä päivinä ovat noin 9–13 %. (19) Kaikkiin aurinkopaneelimallien toimintaan vaikuttavat merkittävästi sääolosuhteet. Synkällä kesäkelillä aurinkojärjestelmän maksimitehokkuus on 15 % maksimitehosta. (20)

Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat paneelien lisäksi kaapelit, invertteri sekä asennustelineet. Paneelien välillä käytetään pääsääntöisesti HC4-pistokejärjestelmällä varustettuja kaapeleita. HC4-pistokejärjestelmässä on ongelmana, että eri valmistajien HC4-pistokkeet voivat olla yhteen sopimattomia. Tästä syystä, mikäli järjestelmään tilataan eri valmistajien paneeleita, on hyvä tarkistaa niiden yhteensopivuus. Aurinkosähköjärjestelmän asennukset tulee tehdä standardin SFS 6000-7-712 mukaisesti. Paneeleilta lähtee invertterille kytkentätavasta ja paneelien määrästä riippuen yksi tai useampi kaapeli. Invertterin tehtävänä järjestelmässä ensisijaisesti on muuttaa tasasähkö (DC) vaihtosähköksi (AC).

Inverttereitä on kolmea erilaista mallia. Verkkoon liitettävässä järjestelmässä käytetään yleensä on-grid-mallista invertteriä, joka tahdistuu verkkoon. Verkkoinvertteri katkaisee

jännitteeseen, mikäli valtakunnanverkko on kaatunut. Tämä on ensisijaisesti tärkeää sähköturvallisuuden kannalta, jotta verkko on jännitteetön vikatilanteessa. Mikäli invertteri ei katkaisisi jännitettä, invertteri loisi oman sähköverkon. Toinen invertterimalli on off-grid, joka on tarkoitettu aurinkojärjestelmille, jotka eivät ole yhteydessä valtakunnan verkkoon. Näitä inverttereitä käytetään esimerkiksi mökeillä. Viimeinen invertterimalli on island-mallinen eli saarekekäyttöinen invertteri. Nämä invertterit ovat yhteydessä valtakunnan verkkoon, mutta verkon ollessa nurin ne toimivat UPS-laitteen tavoin ja jatkavat sähkönsyöttöä hyödyntäen akkuja. Island-malliset invertterit maksavat reippaasti enemmän kuin edellä mainitut invertterimallit.

Uusissa inverttereissä on erilaisia älykkäitä ominaisuuksia, joiden avulla paneelin tuotantoa voidaan tehostaa ja sähköntuotantoa voidaan seurata etänä. Invertterimallissa, joka käyttää Internet-yhteyttä on oltava tarkkana tietoturvassa. Internetiin kytkettyjen invertterien yleistyessä myös niihin liittyvien haittaohjelmien esiintyminen kasvaa. Yleensä haittaohjelmat keskittyvät palvelinestohyökkäyksiin, mutta pahimmassa tapauksessa ne pystyvät huojuuttamaan valtakunnan verkkoa, mikäli tarpeeksi monta invertteriä saadaan kaapattua. Yksi tapa estää haittaohjelmien pääsy on käyttää invertterikohtaista Internetiä sekä muistaa huolehtia invertterien päivityksistä.

Aurinkosähköjärjestelmän tuoton seurantaan on tullut monia erilaisia ohjelmia. Osa seurantaohjelmista tulee invertterin valmistajilta, ja ne ovat vielä toistaiseksi ilmaisia. Esimerkiksi Froniuksella on Solar web -ohjelma, jolla voidaan seurata tuotantoa ja näin ollen optimoida sähkönkulutusta tuotannon mukaan. Myös saksalaisella SMA-verkkoinvertterivalmistajalla on oma ohjelma aurinkosähkönsurantaan. Ohjelman nimi on Sunny Portal, ja Käpylehdon mukaan 3.1.2016 palvelussa oli rekisteröity 155 aurinkovoimalaa Suomessa (21). 2.4.2017 määrä oli kasvanut 275 aurinkovoimalaan. Tämä antaa myöskin osviittaa aurinkosähkönsurastymiselle Suomessa.

Aurinkosähköjärjestelmän prosessi voidaan jakaa seuraaviin kuuteen eri vaiheisiin.

1. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitetaan asiakkaan tarve järjestelmälle. Selvitetään minkälaiseen kohteeseen aurinkosähköjärjestelmä on tulossa, minkä kokoisin järjestelmän ja minkälaisella asennustavalla asiakas haluaa. Ellei asiakas ole kiinteistön omistaja, on hyvä varmistaa ensimmäisessä vaiheessa kiinteistön omistajalta lupa järjestelmän asennukseen.

2. Toisessa vaiheessa aloitetaan järjestelmän esisuunnittelu, jossa valitaan paneelien sijoituskohteet sekä paneelien kiinnitysmekanismit. Lisäksi valitaan järjestelmän muut komponentit sekä tehdään alustavat tuottolaskelmat. Yleisimmin aurinkopaneelit sijoitetaan katolle, jonne muodostuu mm. vähemmän varjoja kuin maahan, paneelit suojaavat kattoa ja paneelit eivät altistu niin herkästi ilkeille. Kattojärjestelmissä tulee huomioida ensisijaisesti katon kannattavuus ja sen kunto. Varsinkin vanhan rakennuksen kattomateriaali kannattaa ensin tutkituttaa ja vaihtaa, mikäli se on tarpeellista, sillä vanha kattomateriaali tai -rakenne ei välttämättä kestä paneelien asennusta. Lisäksi kattomateriaalin vaihto ennen aurinkosähköjärjestelmän asentamista on helpompaa, halvempaa ja nopeampaa, kun järjestelmä ei ole tiellä. Standardikokoiset paneelit ovat mitaltaan pyöristettynä 1 x 1,7 m, ja nyrkkisääntönä niiden tarvitsema tila kattoasennuksessa on 1,5 x 1,7 m eli 2,55 m² (22).

Katon kunnon selvittämisen jälkeen valitaan aurinkopaneelien kiinnitysmenetelmä, niiden suuntaus sekä lasketaan alustavat tuottolaskelmat. Katon malli, materiaali ja suunta vaikuttavat paljon kiinnitysmenetelmän valintaan. Tasakattoiselle katolle paneelit voidaan asentaa haluttuun parhaimpaan asennuskulmaan ja materiaalista riippuen voidaan valita kiinnitysmenetelminä betonitassut, telineet tai peltipuristeiset kiinnikkeet. Kaltevilla sekä harjakatoilla paneelien suuntaaminen kannattaa toteuttaa katon lappeen mukaisesti ja kiinnitysmenetelmä määräytyy kattomateriaalin mukaan. Parhaan hyötysuhteen saamiseksi paneelien optimaalinen asennuskulma on 40°–45°. Tähän kuitenkin vaikuttaa sijainti, esimerkiksi Helsingissä paras asennuskulma on 40°, kun Rovaniemellä se on 47° (23). Asennussuuntana parhaimmat hyödyt auringon paisteesta saadaan suuntaamalla paneelit etelään. Kiinteistön kulutushuipun keskittyessä aamupäivään, itä-asennustakin voidaan suosia. Vaihtoehtoisesti kulutushuipun ollessa iltapäivällä voidaan suosia länsi-asennusta. Seinään asennetut 90°:n kulmassa olevat paneelit tuottavat paremmin keväällä ja syksyllä, sillä aurinko paistaa silloin matalammalta. (22)

3. Kolmannessa vaiheessa tehdään tarjous, haetaan tarvittavat luvat, haetaan energiatukea investoinnille ja hyväksytään tilaus. Joiltain kaupungeilta tarvitsee hakea rakennuslupa aurinkosähköjärjestelmän rakentamiseen. Osa kaupungeista voi jopa rajoittaa paneelien sijoittelua. Tämän takia on hyvä kysyä kaupungilta tarvitseeko, siltä hakea erillisiä lupia tai ilmoittaa järjestelmästä jonnekin.

4. Neljännessä vaiheessa tehdään tarkemmat mittaukset järjestelmästä kohteeseen ja tehdään tarkemmat suunnitelmat. Tässä vaiheessa selvitetään esimerkiksi verkkoon liityntäpisteet sekä mahdollisten läpivientien paikat.
5. Viidennessä vaiheessa asennetaan aurinkosähköjärjestelmä, joka on koko prosessiin verrattuna nopea.
6. Viimeisessä vaiheessa tehdään järjestelmälle SFS-EN 62446:n mukaiset tarpeelliset mittaukset, käyttöönottotarkastukset ja ilmoitukset sekä koulutukset.

Tulevaisuudessa Suomessakin luultavimmin yleistyy rakennusten julkisivusaneerausten yhteydessä seinälle kiinnitettävien paneelien asennus. Turun Jyrkkälässä asennettiin vuonna 2016 asuinkerrostalojen päätyseiniin aurinkopaneeleita julkisivuremontin yhteydessä. Yhteen seinään paneeleita tuli noin 185 kappaletta, ja niiden laskennallinen vuosituotto on 17,5 MWh. Tuotetulla aurinkosähköllä pyritään pienentämään jäähdytyksen sekä ilmanvaihdon kustannuksia. (24) Julkisivusaneerauksiin soveltuvia paneeleita valmistaa esimerkiksi Sto, joka on yksi johtavimmista julkisivujärjestelmien toimittajista. Stolla on markkinoilla tällä hetkellä kaksi erimallista paneelia, joissa on käytetty CIGS-ohutkalvotekniikkaa. Molempien paneelimallien tuotto parhaimmillaan vuodessa on 75 kWh neliöltä, ja ne painavat 10 kg/m², kun normaalit paneelit painavat noin 12 kg/m². Molemmissa malleissa on valmiit väri vaihtoehdot, mutta haluttaessa paneeleihin voi saada kustomoidun värin.

Ensimmäinen malli StoVentec ARTline Invisible on mitoiltaan 1 200 x 600 mm, ja nimensä mukaisesti paneelilla saadaan asennuksesta melkein saumattoman näköistä, kuten kuvasta 8 voidaan havaita.



Kuva 8. StoVentec ARTline Invisible -asennus Berliinissä (25).

Kuvassa 8 oleva plus energia -rakennus sijaitsee Berliinissä ja tuottaa vuosittain enemmän energiaa kuin kuluttaa. Ylijäämä sähköä käytetään sähköautojen lataamiseen. (25) Toinen paneelimalli StoVentec ARTline Inley on mitoiltaan 1 205 x 605 mm. Tämä malli muistuttaa enemmän perinteistä aurinkopaneelia, koska paneelin reunoilla on kehykset.

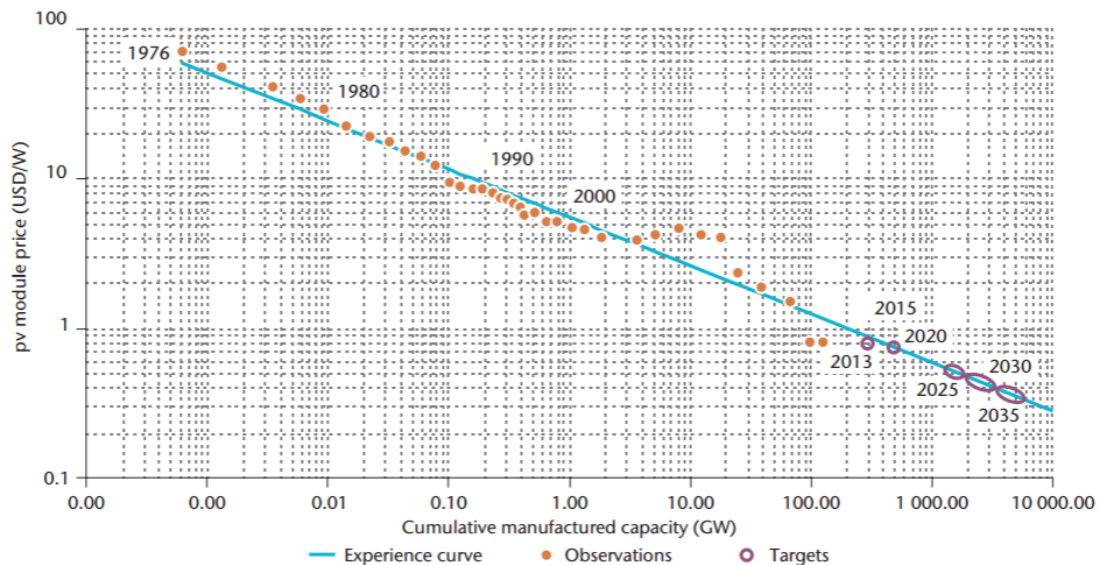
Aurinkopaneelit voidaan tulevaisuudessa ottaa paremmin osaksi rakennuksen perustaa, sillä nykyteknologialla voidaan tuottaa elementtejä johon paneelit ovat valmiiksi integroitu. Esimerkiksi CIGS-ohutkalvotekniikkaa hyödyntäen Suomessa aurinkokattopeltejä valmistaa vuoden 2015 loppupuolella perustettu yritys Virte Solar Oy. Ohutkalvopaneelit liimataan tehtaalla suoraan peltiin, ja tämän ansiosta vältetään mm. paneelien kattokiinnikkeistä sekä paneelien erillisistä asennuksista. (26)

3 Aurinkosähkön kustannukset, rahoitusmallit ja tuet

3.1 Elinkaarikustannukset

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet viime vuosien aikana voimakkaasti, kuten kuvasta 9 voidaan havaita.

Figure 10: Past modules prices and projection to 2035 based on learning curve



Kuva 9. Aurinkopaneelien hintakehitys (27).

Hintojen voimakkaiden laskujen syinä ovat esimerkiksi teknologian kehittyminen, suurien valmistajien massatuotannon paraneminen sekä kuluttajien kiinnostuminen uusiutuvasta energiasta. Kiinteistöjen aurinkosähköjärjestelmien LCOE (levelized cost of energy)-hinnat ovat laskeneet Kämpelähdön mukaan kansainvälisesti 42–64 % vuosien 2008–2014 aikana (21). Investointikustannuksiin vaikuttaa mm. järjestelmän koko, asennustapa, paneelien materiaali, asennuspaikka sekä investointituki.

Taulukossa 1 on keskimääräisiä avaimet käteen -asennushintoja aurinkosähköjärjestelmistä vuonna 2016. Hinnat kattavat järjestelmän (paneelit, invertterit, säätimet, kiinnikkeet ja johdot) sekä järjestelmän asennuksen.

Taulukko 1. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset avaimet käteen -asennushinnat vuonna 2016 (28).

Kategoria / koko kW	Tyypillisiä sovelluskohteita ja lisätietoja	Hinnat €/kWp (ALV 0 %)
Verkkoon kytketyt yli 1000 kW:n (1 MW) järjestelmät, maa-asennus	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat, joista tuotanto myydään sähköpörssiin. Voimalaitoksia ei vielä ole Suomessa.	1 200–1 000 €/kWp
Verkkoon kytketyt yli 250 kW:n järjestelmät, kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan teollisuus- tai isoissa kaupan alan kiinteistössä omaan kulutukseen.	1 300–950 €/kWp
Verkkoon kytketyt 10–250 kW:n järjestelmät, kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan toimisto- ja kaupparakennuksissa ja kuntakiinteistöissä omaan kulutukseen.	1 350–1 050 €/kWp
Verkkoon kytketyt alle 10 kW:n järjestelmät	Aurinkosähköä tuotetaan omakotitaloissa ja muissa pienissä rakennuksissa omaan kulutukseen.	2 000–1 300 €/kWp
Yli 1 kW:n aurinkosähkö- ja akkujärjestelmät (off-grid)	Aurinkosähköä tuotetaan sähköverkon ulkopuolisiin kesämökkeihin ja muihin pieniin rakennuksiin.	3 500 €/kWp
Alle 1 kW:n aurinkosähkö- ja akkujärjestelmät (off-grid)	Aurinkosähköä tuotetaan veneissä, asuntovaunuissa ja pienillä kesämökeillä omaan kulutukseen.	5 000 €/kWp

Ylimoitettujen järjestelmien investointi ei ole kustannuksellisesti kannattavaa vielä näillä Suomen sähkönmyyntihinnoilla sekä järjestelmien investointikustannuksilla. Sama koskee myös alimitoitettuja järjestelmiä, mikäli asiaa tarkastellaan takaisinmaksun kannalta. Kuitenkin tulevaisuudessa ylimitoitettut järjestelmät saattavat muuttua kannattavammaksi, mikäli järjestelmän hinnat laskevat ja tuotetun sähkön myyntihinta nousee tai vastaavasti sähkönhinta nousee.

Aurinkopaneelien valmistajat antavat yleensä paneeleille 10 vuoden takuun sekä 25 vuoden tuottotakuun. Inverttereille valmistajat antavat toisinaan 5 vuoden takuun, ja nyrkkisääntönä laskuissa invertteri vaihdetaan 15 vuoden jälkeen. Vaihtohinnaksi laskelmissa voidaan käyttää pienissä järjestelmissä investointihinnasta 15 %:n osuutta ja isommissa

järjestelmissä 10 %:n osuutta. Jotkut yritykset antavat myös asennusjärjestelmälle takuun, joka on yleensä 10 vuotta. Paneelivalmistajat lupailevat paneeleille yleensä 30 vuoden käyttöikää ja joillekin jopa 40 vuotta, mutta yleensä järjestelmät lasketaan 30 vuoden tarkastelujaksolla. (23)

Aurinkosähköjärjestelmien yksi suurimmista eduista on, että ne ovat melkein huoltovapaita. Kuitenkin on hyvä tehdä huoltokierros kerran vuodessa, jossa tarkastetaan paneelien, kaapeleiden, telineiden sekä invertterien toiminta ja kunto. Joissakin tapauksissa paneeleita voidaan puhdistaa kevyesti liasta kierroksen yhteydessä. Standardissa IEC 62446 on asetettu vaatimukset järjestelmän käytölle sekä kunnossapidon toimenpiteille joita tulisi noudattaa. Mikäli aurinkosähköjärjestelmä liitetään verkkoon, siitä tulee tehdä sähkönsiirtoyhtiön kanssa ostosopimus, jossa määritetään ostosähkön ylijäävälle sähkölle. Ostosopimus tulee tehdä, vaikka järjestelmä ei koskaan tuottaisi ylijäämäsähköä. (23)

3.2 Rahoitusmallit

Aurinkosähköjärjestelmiä voidaan myydä monilla eri rahoitusmalleilla asiakkaille. Eri rahoitusmalleja ovat mm. suora investointi, osamaksukauppa, rahoitusleasing ja näiden yhdistelmät.

Suorassa investoinnissa yritys myy asiakkaalleen eri vaihtoehdoin aurinkosähköjärjestelmän. Asiakkaalle myydään joko pelkästään aurinkosähköjärjestelmä ilman asennusta tai asennuksen kanssa. Helpoin vaihtoehto kuitenkin asiakkaille on valita aurinkosähköjärjestelmä kokonaispalveluna. Kokonaispalveluitakin voidaan määritellä eri laajuuksin, mutta helpoimmaksi asiakkaalle tulee laajuus, jossa yritys hoitaa investoinnin järjestelmän suunnittelusta asentamiseen asti. Tämä voi toisin sanoen käsittää järjestelmän suunnittelun, tukihakemusten ja lupa-asioiden hoitamisen sekä aurinkosähköjärjestelmän hankkimisen ja asentamisen. Hyötynä asiakkaan ei tarvitse kuluttaa aikaa esimerkiksi ottamalla selvää eri voimassa olevien hakemusten prosesseista. Haittana suorainvestoinnissa on hankkeen näkyminen asiakkaan taseessa sekä kassavirrassa.

Osamaksukaupassa asiakkaan ja rahoittajan välille tehdään sopimus jossa aurinkosähköjärjestelmä maksetaan sovittuun ajan kuluessa ennalta määritetyissä maksuerissä. Rahoittajana tässä tapauksessa voi toimia yritys. Osamaksukaupan sopimusten pituus on

keskimäärin 8–15 vuotta, riippuen järjestelmän hinnasta sekä osamaksuerien suuruudesta. Omistussuhde järjestelmään säilyy rahoittajalla, kunnes vähintään ennalta määritelty osa sopimuksen hinnasta on maksettu. Mikäli asiakas laiminlyö maksut, on rahoittajalla oikeus järjestelmän takaisin ottamiseen. Osamaksukaupassa aurinkosähköjärjestelmän hankinta näkyy asiakkaan taseessa hankintana.

Rahoitusleasing eroaa osamaksukaupasta siten, että koko sopimuskauden ajan rahoittaja esimerkiksi yritys omistaa aurinkosähköjärjestelmän. Sopimukset ovat yleensä 8–10 vuoden pituisia, ja järjestelmä siirtyy asiakkaan omistukseen vasta sopimuskauden loputtua ennalta määriteltä jäännösarvoa vastaan. Tämän rahoitusmallin etu asiakkaalle on, ettei investointi näy asiakkaan taseessa. Lisäksi rahoitusleasing-sopimukseen voidaan liittää järjestelmän ylläpitovastuu esimerkiksi yritykselle koko sopimuskauden ajaksi.

Muita rahoitusmalleja on mm. PPA-malli (power purchase agreement), jossa sovitaan rahoittajan tai yrityksen ja asiakkaan välille pitkäaikainen aurinkoenergian ostosopimus. Asiakkaan etuna tässä mallissa on, ettei asiakkaan täydy investoida eikä ylläpitää aurinkosähköjärjestelmää. Lisäksi järjestelmän tuotantoriski on rahoittajalla tai yrityksellä eikä asiakkaalla. (29)

3.3 Investointituet

Yritys, kunnat sekä muut yhteisöt voivat hakea aurinkosähköjärjestelmän investoinnille energiatukea. Tuen ensisijainen tarkoitus on tukea uusiutuvan energian tuotantoa ja tehdä siitä kannattavampaa sekä pienentää taloudellisia riskejä. Energiatukea myönnetään myös hankkeisiin, jossa energian käytön tai tuotannon ympäristöhaittoja pienennetään tai tehostetaan tai energiansäästöä edistetään. Tukea haetaan 26.1.2017 alkaen täyttämällä Tekesin verkkosivuilla asiointipalvelussa energiatukihakemus. Hakemukseen liitetään energiatukihakemus investointiin sekä siihen tarvittavat liitteet. Pakollisia liitteitä tukea haettaessa ovat projektisuunnitelma, hankkeen kannattavuuslaskelma sekä arviointilomake energiatuen vaikutuksesta. Investoinnin tulee olla yli 10 000 euroa, sillä alle 10 000 euron investointeihin ei myönnetä tukea. Tukihakemus tulee tehdä ennen hankkeen aloittamista ja on hyvä lähettää ajoissa, koska hakemuksen käsittely kestää noin kaksi kuukautta.

Hyväksytyn hakemuksen jälkeen tulee toimittaa Tekesille vielä hyväksymispäätös. Hankkeen aikana on syytä pitää kirjaa kustannuksista koko hankkeen ajalta sekä pitää työajanseurantaa. Sillä hankkeen valmistuttua tilintarkastajalla on velvollisuus antaa lausunto hankkeen kustannusten lisäksi myös niiden seurannasta. Hankkeen valmistuttua tuen hakija raportoi ja tekee Tekesin asiointipalvelun kautta sähköisesti hankkeen tiliöinnin. Vasta tämän jälkeen tuen hakija saa tuen osuuden. (30)

Työ- ja elinkeinoministeriön sivustosta löytyvästä taulukosta 2 näkyvät vuoden 2017 uusiutuvan energian investointituet.

Taulukko 2. Uusiutuvan energian investoinnit vuonna 2017 (tavanomainen teknologia) (31).

Lämpökeskushankkeet (puupolttoaineet)	10–15 %
Lämpöpumppuhankkeet	15 %*
Aurinkolämpöhankkeet	20 %
Pienvesivoimahankkeet	15–20 %
Kaatopaikkakaasuhankkeet	15–20%
Aurinkosähköhankkeet	25 %
Biokaasuhankkeet	20–30 %
Pientuulivoimahankkeet	20–25 %

Taulukosta 2 nähdään, että ainoastaan biokaasuhankkeisiin voidaan tällä hetkellä myöntää prosentuaalisesti enemmän energiatukea kuin aurinkosähköhankkeisiin. Vuonna 2015 aurinkosähköhankkeisiin myönnettiin vielä 30 %:n tuki, mutta järjestelmien yleistyksessä sekä hintojen laskiessa tuen osuutta on laskettu. Eduskunnan hyväksymän valtion talousarvioesityksen mukaan vuodelle 2017 esitetään myönnettäväksi yhteensä noin 70 miljoonan euron määrärahaa energiatuelle. Talousarvioesityksestä voidaan päätellä, että tuen prosentuaalinen määrä tulee tippumaan lähivuosina, sillä vuodelle 2018 esitetään 44,6 miljoonan euron tukea, 2019 vuodelle 28,9 miljoonan euron tukea ja 2020 vuodelle vain 12,3 miljoonan euron tukea. (32)

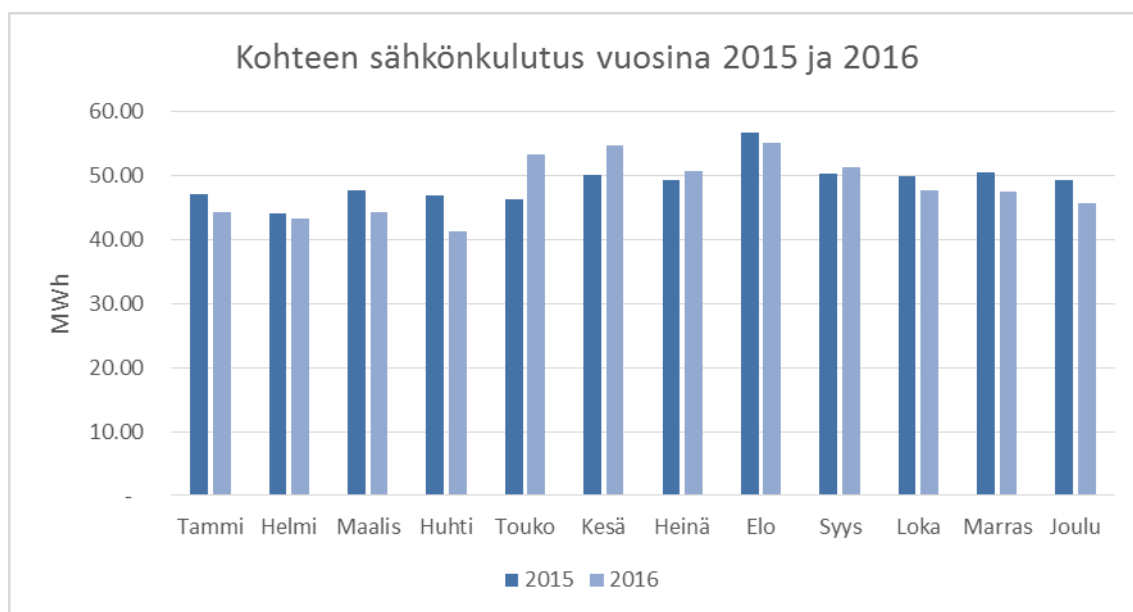
Verohallinto määrittää nimellisteholtaan alle 100 kVA:n sähköntuotantojärjestelmät mikrovoimalaitoksiksi, jotka jäävät sähkönverovelvollisuuden ulkopuolelle. Toisin sanoen tässä tapauksessa verohallinnolle ei tarvitse ilmoittaa tuotetun sähkön määrää. Yli 100 kVA:n järjestelmät, jotka tuottavat alle 800 000 kWh vuodessa ja jotka rekisteröityvät sähkön pientuottajiksi, ovat velvollisia ilmoittamaan kerran vuodessa tuotetun sähkön

määrän. Verohallinto määrittää nimellisteholtaan yli 100 kVA:n ja vuosituotannoltaan yli 800 000 kWh:n järjestelmät voimalaitoksiksi. Voimalaitokset ovat velvollisia antamaan kuukausittain veroilmoituksen verollisista ja verottomista toimituksista, vaikka sähköä ei syötettäisi ollenkaan verkkoon.

4 Järjestelmän valinta ja mitoitus

4.1 Lähtötiedot

Esimerkkikohteena laskuissa käytetään Jyväskylässä sijaitsevaa toimistorakennusta, jonka lämmitetty nettoala on 7 250 m² ja jonka vuosittainen sähkönkulutus on keskimäärin noin 585 MWh. Kuvan 10 kaaviossa Alla olevassa taulukossa 3 on vuosien 2015 sekä 2016 sähkönkulutus kuukausinäkömänä.



Kuva 10. Kohteen sähkönkulutus vuosina 2015 ja 2016.

Kuvan 10 mukaisesti kohteen kulutus kuukausitasolla on keskimäärin noin 48,69 MWh, maksimissaan noin 55,91 MWh ja minimissään noin 42,75 MWh. Kohteen sähkönkulutus painottuu keskimäärin arkipäiviin klo 6:00–17:00. Kohteessa on tasakatto, ja sen yleiskunto on hyvä, joten ennen järjestelmän asentamista katolle ei tarvitse tehdä huoltoa. Kattomateriaalina on käytetty bitumikermikatetta, jonka tekninen käyttöikä on noin 30–35 vuotta.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun on monia eri painotuksia. Asiakas voi haluta mahdollisimman suuren järjestelmän paneeliteholtaan. Tällöin huomioidessa pelkkä kattoasennusmahdollisuus, suurin rajoittava tekijä on katon koko. Toisena tarpeena voi olla, että haetaan mahdollisimman suurta kulutuksen ja tuoton kohtaamista. Tässä tapauksessa järjestelmän suunnittelussa selvitetään, mihin ajankohtaan sähkönkulutus kohteessa painottuu ja pyritään saamaan aurinkopaneelit tuottamaan parhaiten kyseiseen aikaan. Asiakas voi myös haluta ns. vihreää arvoa imagolleen, jolloin järjestelmällä ei haeta isoja tuottoja eikä optimaalisinta kokoa. Näissä tapauksissa suunnittelussa keskitytään pienempään järjestelmään kuin kohteeseen optimaalisimpaan. Helppona vaihtoehtona tässä tapauksessa asiakkaalle on ottaa valmis pakettiratkaisu, jolla kuitenkin pyritään mitoittamaan järjestelmälle hyvä takaisinmaksuaika.

Seuraavassa osiossa lasketaan näitä kolmea painotusmuotoa käyttäen esimerkkitapahtumaan aurinkosähköjärjestelmien koko, niiden kannattavuus sekä järjestelmillä säästetyt hiilidioksidipäästöt. Kuvassa 11 on esitettynä auringon tuntikohtainen säteily Jyväskylässä kuukauden päivittäisenä keskiarvona johon laskelmat perustuvat.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	pv/kk
kerroin	0,06	0,2	0,4	0,52	0,63	0,7	0,6	0,57	0,45	0,17	0,05	0,05	4,4
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
6:00	0	0	0	0	0,063	0,07	0,06	0,057	0	0	0	0	kW/m ²
7:00	0	0,02	0,04	0,052	0,189	0,21	0,12	0,114	0,09	0,034	0,01	0	kW/m ²
8:00	0,018	0,06	0,16	0,26	0,378	0,35	0,3	0,285	0,18	0,085	0,02	0,01	kW/m ²
9:00	0,03	0,1	0,24	0,416	0,567	0,56	0,48	0,399	0,315	0,136	0,03	0,02	kW/m ²
10:00	0,042	0,14	0,32	0,468	0,63	0,63	0,54	0,456	0,36	0,153	0,04	0,025	kW/m ²
11:00	0,048	0,2	0,4	0,52	0,693	0,7	0,66	0,57	0,36	0,17	0,045	0,035	kW/m ²
12:00	0,054	0,2	0,44	0,572	0,693	0,77	0,6	0,57	0,405	0,187	0,045	0,04	kW/m ²
13:00	0,048	0,2	0,44	0,572	0,63	0,77	0,6	0,57	0,36	0,17	0,04	0,03	kW/m ²
14:00	0,048	0,18	0,4	0,52	0,567	0,7	0,6	0,57	0,36	0,153	0,035	0,02	kW/m ²
15:00	0,03	0,16	0,32	0,416	0,441	0,56	0,54	0,513	0,315	0,119	0,03	0,02	kW/m ²
16:00	0,024	0,12	0,24	0,312	0,378	0,42	0,42	0,399	0,225	0,085	0,02	0,01	kW/m ²
17:00	0,012	0,06	0,12	0,208	0,252	0,28	0,24	0,228	0,09	0,034	0,01	0	kW/m ²
18:00	0	0,02	0,04	0,052	0,063	0,14	0,12	0,114	0,045	0	0	0	kW/m ²
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW/m ²
päivä	0,354	1,46	3,16	4,368	5,544	6,16	5,28	4,845	3,105	1,326	0,325	0,21	36,137 kWh/m ²
kuukausi	10,974	40,88	97,96	131,04	171,864	184,8	163,68	150,195	93,15	41,106	9,75	6,51	1101,909 kWh/m ²

Kuva 11. Auringon tuntikohtainen säteily Jyväskylässä.

Arvot on laskettu Homer Pro Microgrid Analysis Tool -ohjelman perusteella saaduista säteily arvoista.

Laskelmat perustuvat kolmelta eri alanyritykseltä saatujen luottamuksellisten tarjoushintojen keskimääräisiin hintoihin. Laskuissa sähkön ostohintana on käytetty 85 €/MWh, joka sisältää sähkön hinnan, siirron sekä verot. Vertailuna sähkön ostohintana on käytetty hintaa 70 €/MWh. Järjestelmiin ei mitoiteta akkuja, sillä ne eivät ole isommissa järjestelmissä vielä kustannustehokkaita ja kohteen kulutus painottuu pääasiassa aikaan jolloin aurinkosähköjärjestelmä tuottaa parhaiten. Ylituotetun aurinkosähkön myyntihintana on käytetty 20 €/MWh. Aurinkopaneelit asennetaan 45°:n kulmaan ja laskuissa käytetään nimellisteholtaan 260 Wp:n ja pinta-alaltaan 1,7 m²:n paneeleita. Aurinkopaneeleiden hiipuma on vuosittain noin 0,5 %. Paneeleiden hiipuma on kuitenkin niin pientä, ettei sitä oteta laskuissa huomioon.

Kohteen vuosittainen keskimääräinen sähkönkulutus on 585 MWh, joten käyttämällä sähkön hintaa 85 €/MWh, saadaan kohteen vuosittaisen keskimääräisen sähkön hinnaksi 49 725 €. Hintaa 70 €/MWh käyttäen kohteen vuosittaisen keskimääräisen sähkön hinnaksi saadaan 40 950 €. Tilastokeskus on määrittänyt vuonna 2014 viiden vuoden liukuvana keskiarvona sähkön hiilidioksidipäästöksi 209 kg CO₂ /MWh. Tällöin kohteen sähkönkulutuksen hiilidioksidipäästöt ovat 122 265 kg CO₂ vuodessa.

4.2 Laskelmat

4.2.1 260 kWp:n järjestelmä

Kohteen katolle mahtuu maksimissaan noin 1 000 aurinkopaneelia, joten suurin järjestelmä, joka pelkällä kattoasennuksella saadaan, on nimellisteholtaan 260 kWp. Paneelien pinta-ala on tällöin 1 700 m². Tarjosten perusteella suureen järjestelmään paneelien hinnaksi tuli 147 780 €. Telineiden, kaapelien sekä muiden komponenttien hinnaksi tuli 23 527 € ja invertterien hinnaksi 37 134 €. Järjestelmän asennuksen keskimääräiseksi hinnaksi saatiin 46 361 €. Näin ollen koko järjestelmän hankintahinnaksi tulee 254 800 €, ja tästä vähentämällä energiatuen 25 %:n osuus saadaan hankintahinnaksi 191 100 €.

Paneelien vuosituotto on saatu kertomalla kuvan 11 arvoin paneeleiden pinta-ala sekä hyötysuhde. Laskelmien perusteella tuotoksi saadaan kuvan 12 mukaisesti 172,1 MWh/a.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
Hyötysuhde	0.005	0.015	0.05	0.09	0.1	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08	0.015	0.005	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
06:00	0	0	0	0	10.71	13.09	11.22	10.659	0	0	0	0	kW
07:00	0	0.51	3.4	7.956	32.13	39.27	22.44	21.318	13.77	4.624	0.255	0	kW
08:00	0.153	1.53	13.6	39.78	64.26	65.45	56.1	53.295	27.54	11.56	0.51	0.085	kW
09:00	0.255	2.55	20.4	63.648	96.39	104.72	89.76	74.613	48.195	18.496	0.765	0.17	kW
10:00	0.357	3.57	27.2	71.604	107.1	117.81	100.98	85.272	55.08	20.808	1.02	0.2125	kW
11:00	0.408	5.1	34	79.56	117.81	130.9	123.42	106.59	55.08	23.12	1.1475	0.2975	kW
12:00	0.459	5.1	37.4	87.516	117.81	143.99	112.2	106.59	61.965	25.432	1.1475	0.34	kW
13:00	0.408	5.1	37.4	87.516	107.1	143.99	112.2	106.59	55.08	23.12	1.02	0.255	kW
14:00	0.408	4.59	34	79.56	96.39	130.9	112.2	106.59	55.08	20.808	0.8925	0.17	kW
15:00	0.255	4.08	27.2	63.648	74.97	104.72	100.98	95.931	48.195	16.184	0.765	0.17	kW
16:00	0.204	3.06	20.4	47.736	64.26	78.54	78.54	74.613	34.425	11.56	0.51	0.085	kW
17:00	0.102	1.53	10.2	31.824	42.84	52.36	44.88	42.636	13.77	4.624	0.255	0	kW
18:00	0	0.51	3.4	7.956	10.71	26.18	22.44	21.318	6.885	0	0	0	kW
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
päivä, kWh	3.0	37.2	268.6	668.3	942.5	1151.9	987.4	906.0	475.1	180.3	8.3	1.8	
kuukausi, kWh	93	1042	8327	20049	29217	34558	30608	28086	14252	5590	249	55	172127 kWh/a

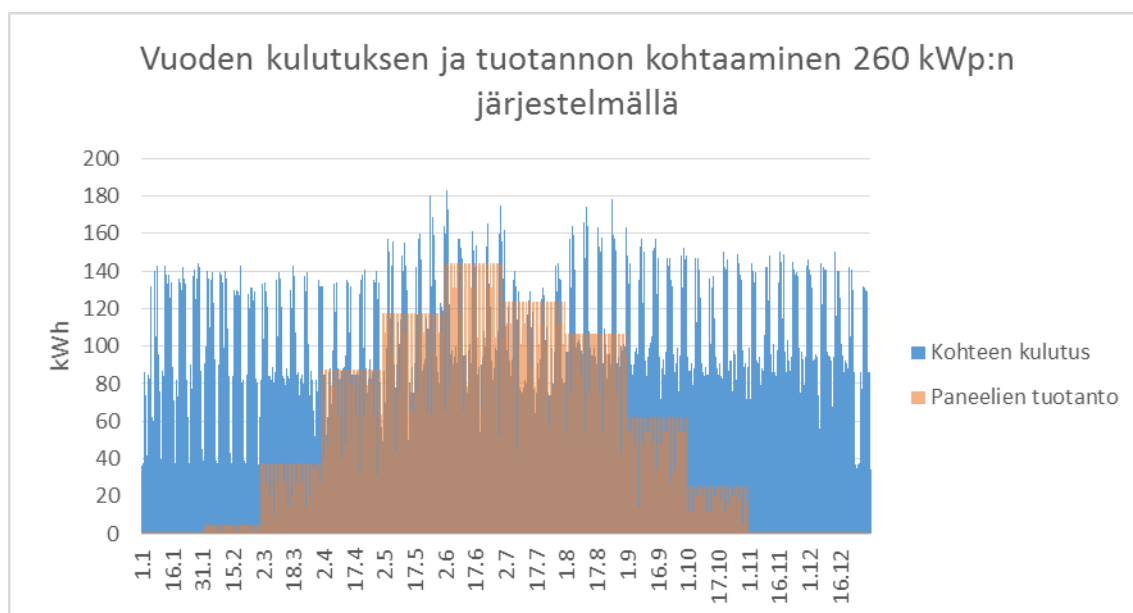
Kuva 12. Paneelien tuntikohtainen tuotanto 260 kWp:n järjestelmällä.

Kuvassa 12 on laskettu 260 kWp järjestelmän kuukauden keskimääräisen päivän tuotanto tuntikohtaisesti. Vähentämällä kohteen kulutuksesta kuvan 12 tulokset saadaan kuvan 13 mukaisesti kohteen kulutus 260 kWp:n järjestelmällä tuntitasolla.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
00:00	1095	985	1065	1015	1248	1296	1475	1528	1096	1107	1115	1123	Wh
01:00	1084	995	1059	1027	1231	1266	1421	1482	1099	1119	1106	1119	Wh
02:00	1088	986	1059	1019	1163	1219	1363	1432	1105	1112	1115	1125	Wh
03:00	1089	991	1025	1025	1119	1193	1329	1363	1097	1124	1111	1118	Wh
04:00	1098	984	1058	1029	1083	1159	1306	1324	1098	1111	1109	1117	Wh
05:00	1197	1099	1170	1135	1106	1188	1331	1501	1313	1283	1265	1266	Wh
06:00	2373	2299	2437	2346	1995	2144	1903	2391	2690	2598	2599	2505	Wh
07:00	2877	2777	2827	2549	1872	1885	1990	2528	2780	2985	3124	3039	Wh
08:00	3119	2926	2750	1843	1286	1507	1213	1914	2611	3015	3417	3286	Wh
09:00	2986	2805	2532	1133	434	463	264	1340	2063	2685	3288	3171	Wh
10:00	2887	2689	2234	834	100	36	-15	1063	1810	2607	3226	3096	Wh
11:00	2947	2714	2113	679	-100	-239	-660	514	1882	2585	3256	3125	Wh
12:00	2836	2592	1865	348	-239	-748	-251	409	1567	2398	3094	2982	Wh
13:00	2728	2477	1746	178	5	-894	-299	213	1610	2331	2969	2856	Wh
14:00	2551	2287	1583	171	113	-717	-345	82	1390	2120	2697	2620	Wh
15:00	2479	2234	1689	534	653	-39	-76	325	1481	2148	2670	2609	Wh
16:00	2188	1873	1435	562	532	252	68	417	1396	1853	2308	2212	Wh
17:00	1763	1601	1288	579	643	499	582	805	1473	1637	1855	1768	Wh
18:00	1432	1272	1178	892	911	535	636	738	1046	1358	1403	1379	Wh
19:00	1319	1197	1255	1070	1166	1255	1286	1343	1258	1317	1347	1322	Wh
20:00	1241	1127	1191	1088	1120	1205	1255	1323	1304	1287	1294	1262	Wh
21:00	1141	1010	1103	1047	1096	1189	1242	1319	1198	1192	1198	1174	Wh
22:00	1073	965	1043	1000	1067	1151	1228	1267	1130	1133	1135	1125	Wh
23:00	1060	957	1016	970	1014	1136	1196	1207	1095	1103	1102	1110	Wh
kuukausi, Wh	45652	41843	37718	24072	20617	17941	19442	27827	36591	43207	48803	47510	Wh

Kuva 13. Tuntikohtainen kulutus 260 kWp -järjestelmän tuoton jälkeen.

Kuvasta 13 voidaan havaita, että järjestelmä tuottaa hetkittäin enemmän kuin mitä kohteen kulutus on. Kuvasta 14 voidaan hahmottaa helpommin järjestelmän ylituotanto.



Kuva 14. 260 kWp -aurinkosähköjärjestelmän tuoton kohtaaminen kulutuksen kanssa.

Laskelmien mukaan järjestelmällä tulee ylituotantoa vuodessa keskimäärin 12,8 MWh:n verran, joten järjestelmä tuottaa ylijäämäenergiaa $12,8 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} = 256 \text{ €}$ vuodessa. Ylituotannon huomioiden sähkönkulutuksesta saadaan säästettyä keskimäärin $172,1 \text{ MWh} - 12,8 \text{ MWh} = 159,3 \text{ MWh}$ vuodessa.

Aurinkopaneeleilla saadaan vuodessa säästettyä 85 €/MWh hintaa käyttäen $85 \text{ €/MWh} \times 159,3 \text{ MWh} \approx 13\,540 \text{ €}$. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän huolto ja oletettu invertterin vaihto 15 vuoden jälkeen. Mikäli invertterin vaihtoa ei oteta huomioon, takaisinmaksuajaksi saadaan $191\,100 \text{ €} / 13\,540 \text{ €} \approx 14,1$ vuotta. Ilman energiatukea takaisinmaksuaika tässä tilanteessa olisi $254\,800 \text{ €} / 13\,540 \text{ €} \approx 18,8$ vuotta.

Vertailuna alemmaa hintaa 70 €/MWh käyttäen vuodessa säästetään $70 \text{ €/MWh} \times 159,3 \text{ MWh} \approx 11\,150 \text{ €}$. Näin ollen takaisinmaksuajaksi ilman järjestelmän huoltoa saadaan $191\,100 \text{ €} / 11\,150 \text{ €} \approx 17,1$ vuotta ja ilman energiatukea $254\,800 \text{ €} / 11\,150 \text{ €} \approx 22,9$ vuotta.

Realistisemmän takaisinmaksuajan saadaan otettaessa huomioon aikaisemmin mainitut toimenpiteet. Aurinkosähköjärjestelmä on melkein täysin huoltovapaa, mutta on hyvä laskea siihen vuosittaisen huoltokierroksen hinnaksi esimerkiksi 300 €. Invertterien vaihdon hinta on noin 26 000 €.

Takaisinmaksuajaksi saadaan yllä mainitut huomioiden 16,7 vuotta. Ilman energiatukea se olisi 21,3 vuotta. Vertailuna hinnalla 70 €/MWh takaisinmaksuajaksi saadaan 20,3 vuotta ja ilman energiatukea 25,9 vuotta.

4.2.2 10,4 kWp:n järjestelmä

Toisessa tapauksessa asiakas voi pelkästään haluta ottaa kantaa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Tämän vuoksi aurinkosähköjärjestelmän ei tarvitse olla niin suuri nimellisteholtaan, joten esimerkkinä valitaan valmispakettina 10,4 kWp:n järjestelmä. Järjestelmä sisältää 40 aurinkopaneelia, joten paneelien pinta-ala on 68 m². Tarjousten perusteella 10,4 kWp:n järjestelmän paneelien hinnaksi tuli 6 635 €. Telineiden, kaapelien sekä muiden komponenttien hinnaksi tuli yhteensä 1 056 € ja invertterin hinnaksi tuli 1 667 €. Järjestelmän asennuksen keskimääräiseksi hinnaksi saatiin 2 082 €. Näin ollen koko järjestelmän hankintahinnaksi tulee 11 440 €. Energiatuen jälkeen järjestelmän investointihinnaksi tulee 8 580 €.

Paneelien vuosituotoksi saadaan laskelmien perusteella kuvan 15 mukaisesti 6,9 MWh/a.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
Hyötysuhde	0.005	0.015	0.05	0.09	0.1	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08	0.015	0.005	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
06:00	0	0	0	0	0.4284	0.5236	0.4488	0.42636	0	0	0	0	kW
07:00	0	0.0204	0.136	0.31824	1.2852	1.5708	0.8976	0.85272	0.5508	0.18496	0.0102	0	kW
08:00	0.00612	0.0612	0.544	1.5912	2.5704	2.618	2.244	2.1318	1.1016	0.4624	0.0204	0.0034	kW
09:00	0.0102	0.102	0.816	2.54592	3.8556	4.1888	3.5904	2.98452	1.9278	0.73984	0.0306	0.0068	kW
10:00	0.01428	0.1428	1.088	2.86416	4.284	4.7124	4.0392	3.41088	2.2032	0.83232	0.0408	0.0085	kW
11:00	0.01632	0.204	1.36	3.1824	4.7124	5.236	4.9368	4.2636	2.2032	0.9248	0.0459	0.0119	kW
12:00	0.01836	0.204	1.496	3.50064	4.7124	5.7596	4.488	4.2636	2.4786	1.01728	0.0459	0.0136	kW
13:00	0.01632	0.204	1.496	3.50064	4.284	5.7596	4.488	4.2636	2.2032	0.9248	0.0408	0.0102	kW
14:00	0.01632	0.1836	1.36	3.1824	3.8556	5.236	4.488	4.2636	2.2032	0.83232	0.0357	0.0068	kW
15:00	0.0102	0.1632	1.088	2.54592	2.9988	4.1888	4.0392	3.83724	1.9278	0.64736	0.0306	0.0068	kW
16:00	0.00816	0.1224	0.816	1.90944	2.5704	3.1416	3.1416	2.98452	1.377	0.4624	0.0204	0.0034	kW
17:00	0.00408	0.0612	0.408	1.27296	1.7136	2.0944	1.7952	1.70544	0.5508	0.18496	0.0102	0	kW
18:00	0	0.0204	0.136	0.31824	0.4284	1.0472	0.8976	0.85272	0.2754	0	0	0	kW
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kW
päivä, kWh	0.1	1.5	10.7	26.7	37.7	46.1	39.5	36.2	19.0	7.2	0.3	0.1	
kuukausi, kWh	4	42	333	802	1169	1382	1224	1123	570	224	10	2	6885 kWh/a

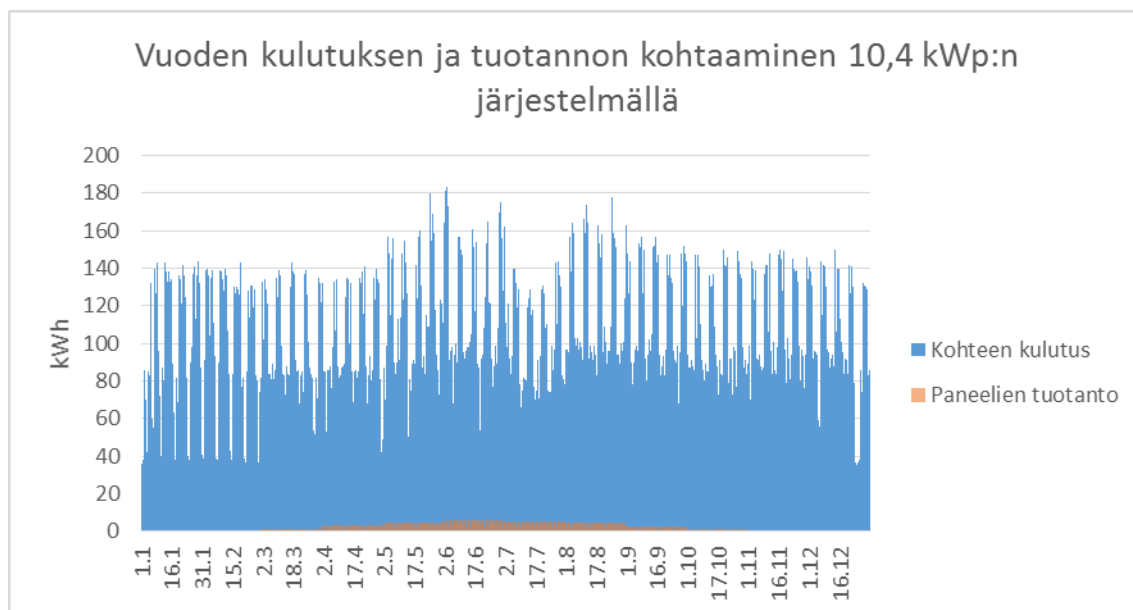
Kuva 15. Paneelien tuntikohtainen tuotanto 10,4 kWp:n järjestelmällä.

Kuvassa 15 on laskettu 10,4 kWp:n järjestelmän kuukauden keskimääräisen päivän tuotanto tuntikohtaisesti. Vähentämällä kohteen kulutuksesta kuvan 15 tulokset saadaan kuvan 16 mukaisesti kohteen kulutus 10,4 kWp:n järjestelmällä tuntitasolla.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
00:00	1095	985	1065	1015	1248	1296	1475	1528	1096	1107	1115	1123	Wh
01:00	1084	995	1059	1027	1231	1266	1421	1482	1099	1119	1106	1119	Wh
02:00	1088	986	1059	1019	1163	1219	1363	1432	1105	1112	1115	1125	Wh
03:00	1089	991	1025	1025	1119	1193	1329	1363	1097	1124	1111	1118	Wh
04:00	1098	984	1058	1029	1083	1159	1306	1324	1098	1111	1109	1117	Wh
05:00	1197	1099	1170	1135	1106	1188	1331	1501	1313	1283	1265	1266	Wh
06:00	2373	2299	2437	2346	2314	2521	2237	2708	2690	2598	2599	2505	Wh
07:00	2877	2790	2928	2778	2828	3016	2658	3163	3176	3122	3132	3039	Wh
08:00	3124	2967	3155	2988	3198	3391	2882	3500	3404	3359	3431	3289	Wh
09:00	2994	2873	3139	2966	3302	3479	2936	3560	3451	3235	3310	3176	Wh
10:00	2898	2785	3043	2896	3287	3429	2990	3600	3396	3226	3256	3103	Wh
11:00	2959	2851	3125	2971	3406	3531	3013	3686	3468	3273	3289	3134	Wh
12:00	2849	2729	2978	2868	3267	3399	3088	3581	3352	3154	3127	2993	Wh
13:00	2740	2614	2859	2698	3192	3253	3040	3385	3196	3019	2999	2864	Wh
14:00	2563	2411	2595	2463	2981	3053	2994	3254	2976	2739	2723	2625	Wh
15:00	2487	2343	2498	2367	2884	2977	2929	3180	2869	2630	2692	2614	Wh
16:00	2194	1956	2042	1937	2444	2514	2406	2638	2388	2197	2322	2215	Wh
17:00	1766	1642	1591	1496	1918	2007	1917	2074	1869	1774	1863	1768	Wh
18:00	1432	1285	1279	1121	1230	1289	1304	1373	1245	1358	1403	1379	Wh
19:00	1319	1197	1255	1070	1166	1255	1286	1343	1258	1317	1347	1322	Wh
20:00	1241	1127	1191	1088	1120	1205	1255	1323	1304	1287	1294	1262	Wh
21:00	1141	1010	1103	1047	1096	1189	1242	1319	1198	1192	1198	1174	Wh
22:00	1073	965	1043	1000	1067	1151	1228	1267	1130	1133	1135	1125	Wh
23:00	1060	957	1016	970	1014	1136	1196	1207	1095	1103	1102	1110	Wh
kuukausi, Wh	45741	42843	45712	43319	48665	51117	48826	54790	50273	48573	49042	47563	Wh

Kuva 16. Tuntikohtainen kulutus 10,4 kWp:n järjestelmän tuoton jälkeen.

Kuvasta 16 voidaan havaita, että järjestelmä ei tuota enemmän kuin kohteen kulutus on. Kuvasta 17 voidaan hahmottaa helpommin järjestelmän tuotanto verrattuna kulutukseen.



Kuva 17. 10,4 kWp -aurinkosähköjärjestelmän tuoton kohtaaminen kulutuksen kanssa.

Laskelmien mukaan järjestelmällä ei tule ollenkaan ylituotantoa, joten vuodessa säästetään sähkönkulutuksesta keskimäärin pelkästään 6,9 MWh.

Järjestelmällä saadaan säästettyä vuodessa hintaa 85 €/MWh käyttäen $85 \text{ €/MWh} \times 6,9 \text{ MWh} \approx 590 \text{ €}$. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän huolto, oletettu invertterin vaihto 15 vuoden jälkeen. Mikäli invertterin vaihtoa ei oteta huomioon, takaisinmaksuajaksi saadaan $8\,580 \text{ €} / 590 \text{ €} \approx 14,5$ vuotta. Ilman energiatukea takaisinmaksuaika tässä tilanteessa olisi $11\,440 \text{ €} / 590 \text{ €} \approx 19,4$ vuotta.

Vertailuna alempaa hintaa 70 €/MWh käyttäen vuodessa säästetään $70 \text{ €/MWh} \times 6,9 \text{ MWh} \approx 430 \text{ €}$. Näin ollen takaisinmaksuajaksi ilman järjestelmän huoltoa saadaan $8\,580 \text{ €} / 430 \text{ €} \approx 20,0$ vuotta ja ilman energiatukea $11\,440 \text{ €} / 430 \text{ €} \approx 26,6$ vuotta.

Vuosittaisen huoltokierroksen hinnaksi voidaan laskea näin pienellä järjestelmällä esimerkiksi 100 € ja invertterin vaihdon hinnaksi noin $1\,560 \text{ €}$. Takaisinmaksuajaksi saadaan yllä mainitut huomioiden $22,2$ vuotta. Ilman energiatukea se olisi $27,1$ vuotta. Vertailuna hinnalla 70 €/MWh takaisinmaksuajaksi saadaan $30,5$ vuotta ja ilman energiatukea $37,2$ vuotta.

4.2.3 176,8 kWp:n järjestelmä

Kohteen tuntikohtaisen kulutuksen perusteella 176,8 kWp:n järjestelmän tuotto kohtaa parhaiten kulutuksen kanssa, sillä tätä pienempien järjestelmien takaisinmaksuaika alkaa pitenemään ja suurempien järjestelmien takaisinmaksuaika ei lyhene merkittävästi investointikustannuksiin nähden. 176,8 kWp:n järjestelmässä on 680 aurinkopaneelia, joiden pinta-ala on 1 156 m².

Pyydettyjen luottamuksellisten tarjousten perusteella 176,8 kWp:n järjestelmän paneelien keskimääräiseksi hinnaksi tuli 112 792 €. Invertterien hinnaksi tuli 28 343 €, ja telineiden, kaapelien sekä muiden komponenttien hinnaksi tuli yhteensä 17 958 €. Järjestelmän asennuksen keskimääräiseksi hinnaksi saatiin 35 386 €. Näin ollen koko järjestelmän hankintahinnaksi tulee 194 480 € ja tästä vähentämällä energiatuen 25 %:n osuus, järjestelmän hankintahinnaksi tulee 145 860 €.

Paneelien vuosituotoksi saadaan laskelmien perusteella kuvan 18 mukaisesti 117,0 MWh/a.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Hyötysuhde	0.005	0.015	0.05	0.09	0.1	0.11	0.11	0.11	0.09	0.08	0.015	0.005
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	7.2828	8.9012	7.6296	7.24812	0	0	0	0
07:00	0	0.3468	2.312	5.41008	21.8484	26.7036	15.2592	14.49624	9.3636	3.14432	0.1734	0
08:00	0.10404	1.0404	9.248	27.0504	43.6968	44.506	38.148	36.2406	18.7272	7.8608	0.3468	0.0578
09:00	0.1734	1.734	13.872	43.28064	65.5452	71.2096	61.0368	50.73684	32.7726	12.57728	0.5202	0.1156
10:00	0.24276	2.4276	18.496	48.69072	72.828	80.1108	68.6664	57.98496	37.4544	14.14944	0.6936	0.1445
11:00	0.27744	3.468	23.12	54.1008	80.1108	89.012	83.9256	72.4812	37.4544	15.7216	0.7803	0.2023
12:00	0.31212	3.468	25.432	59.51088	80.1108	97.9132	76.296	72.4812	42.1362	17.29376	0.7803	0.2312
13:00	0.27744	3.468	25.432	59.51088	72.828	97.9132	76.296	72.4812	37.4544	15.7216	0.6936	0.1734
14:00	0.27744	3.1212	23.12	54.1008	65.5452	89.012	76.296	72.4812	37.4544	14.14944	0.6069	0.1156
15:00	0.1734	2.7744	18.496	43.28064	50.9796	71.2096	68.6664	65.23308	32.7726	11.00512	0.5202	0.1156
16:00	0.13872	2.0808	13.872	32.46048	43.6968	53.4072	53.4072	50.73684	23.409	7.8608	0.3468	0.0578
17:00	0.06936	1.0404	6.936	21.64032	29.1312	35.6048	30.5184	28.99248	9.3636	3.14432	0.1734	0
18:00	0	0.3468	2.312	5.41008	7.2828	17.8024	15.2592	14.49624	4.6818	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
päivä, kWh	2.0	25.3	182.6	454.4	640.9	783.3	671.4	616.1	323.0	122.6	5.6	1.2
kuukausi, kWh	63	709	5662	13633	19867	23499	20814	19099	9691	3801	169	38
												117046 kWh/a

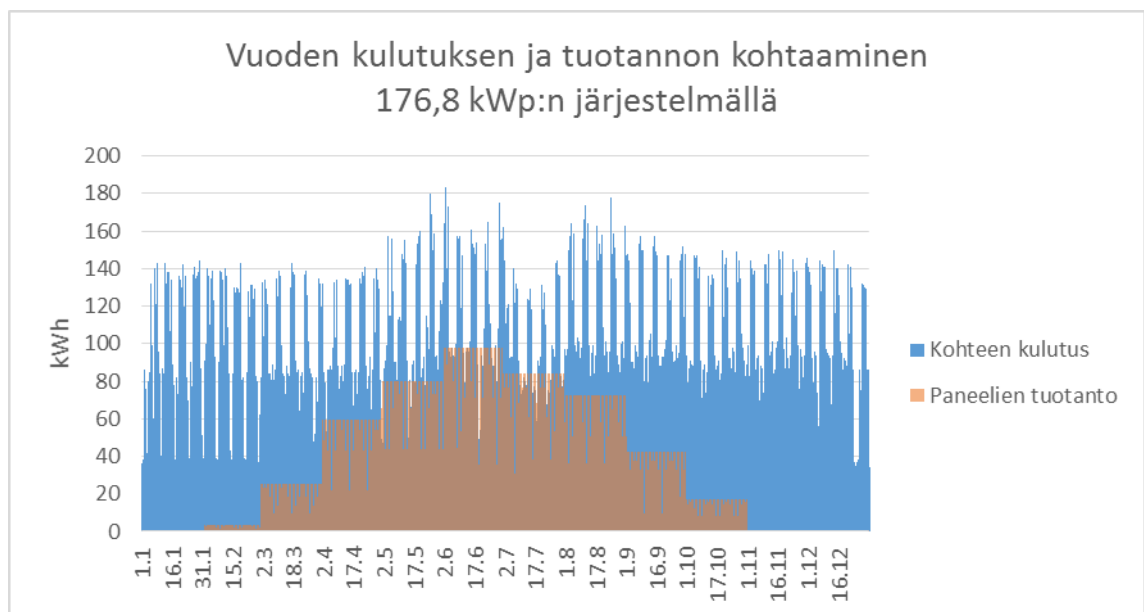
Kuva 18. Paneelien tuntikohtainen tuotanto 176,8 kWp:n järjestelmällä.

Kuvassa 18 on laskettu 176,8 kWp:n järjestelmän kuukauden keskimääräisen päivän tuotanto tuntikohtaisesti. Vähentämällä kohteen kulutuksesta kuvan 18 tulokset saadaan kuvan 19 mukaisesti kohteen kulutus 176,8 kWp:n järjestelmällä tuntitasolla.

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
00:00	1095	985	1065	1015	1248	1296	1475	1528	1096	1107	1115	1123	Wh
01:00	1084	995	1059	1027	1231	1266	1421	1482	1099	1119	1106	1119	Wh
02:00	1088	986	1059	1019	1163	1219	1363	1432	1105	1112	1115	1125	Wh
03:00	1089	991	1025	1025	1119	1193	1329	1363	1097	1124	1111	1118	Wh
04:00	1098	984	1058	1029	1083	1159	1306	1324	1098	1111	1109	1117	Wh
05:00	1197	1099	1170	1135	1106	1188	1331	1501	1313	1283	1265	1266	Wh
06:00	2373	2299	2437	2346	2101	2270	2014	2496	2690	2598	2599	2505	Wh
07:00	2877	2781	2860	2626	2191	2262	2213	2740	2912	3031	3127	3039	Wh
08:00	3121	2940	2885	2224	1923	2135	1769	2443	2875	3129	3422	3287	Wh
09:00	2989	2827	2734	1744	1390	1469	1155	2080	2526	2868	3295	3172	Wh
10:00	2890	2721	2504	1521	1162	1167	986	1908	2338	2813	3236	3099	Wh
11:00	2951	2760	2450	1443	1069	1018	564	1571	2410	2815	3267	3128	Wh
12:00	2840	2638	2236	1188	930	635	862	1466	2162	2650	3105	2986	Wh
13:00	2732	2523	2117	1018	1067	489	814	1270	2138	2561	2979	2859	Wh
14:00	2555	2329	1920	935	1069	540	768	1139	1918	2326	2706	2621	Wh
15:00	2482	2270	1959	1145	1397	967	925	1277	1944	2309	2677	2610	Wh
16:00	2190	1901	1637	1020	1169	1006	847	1157	1727	1967	2313	2213	Wh
17:00	1764	1615	1389	885	1068	1002	1027	1228	1605	1683	1858	1768	Wh
18:00	1432	1276	1211	969	1017	786	859	950	1113	1358	1403	1379	Wh
19:00	1319	1197	1255	1070	1166	1255	1286	1343	1258	1317	1347	1322	Wh
20:00	1241	1127	1191	1088	1120	1205	1255	1323	1304	1287	1294	1262	Wh
21:00	1141	1010	1103	1047	1096	1189	1242	1319	1198	1192	1198	1174	Wh
22:00	1073	965	1043	1000	1067	1151	1228	1267	1130	1133	1135	1125	Wh
23:00	1060	957	1016	970	1014	1136	1196	1207	1095	1103	1102	1110	Wh
kuukausi, Wh	45682	42176	40383	30488	29967	29000	29236	36814	41152	44996	48883	47527	Wh

Kuva 19. Tuntikohtainen kulutus 176,8 kWp:n järjestelmän tuoton jälkeen.

Kuvan 19 arvot ovat kuukausien päivien keskiarvoja tuntitasolla ja tämän takia järjestelmän pieni ylituotanto ei näy kuvassa. Kuvasta 20 voidaan hahmottaa helpommin järjestelmän tuotanto verrattuna kulutukseen.



Kuva 20. 176,8 kWp -aurinkosähköjärjestelmän tuoton kohtaaminen kulutuksen kanssa.

Laskelmien mukaan ylituotantoa vuodessa tulee keskimäärin 1,1 MWh:n verran, joten järjestelmä tuottaa ylijäämäsähköllä vain $1,1 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} = 22 \text{ €}$ vuodessa.

Ylituotannon huomioiden sähkönkulutuksesta saadaan säästettyä keskimäärin $172,1 \text{ MWh} - 1,1 \text{ MWh} = 171,0 \text{ MWh}$ vuodessa

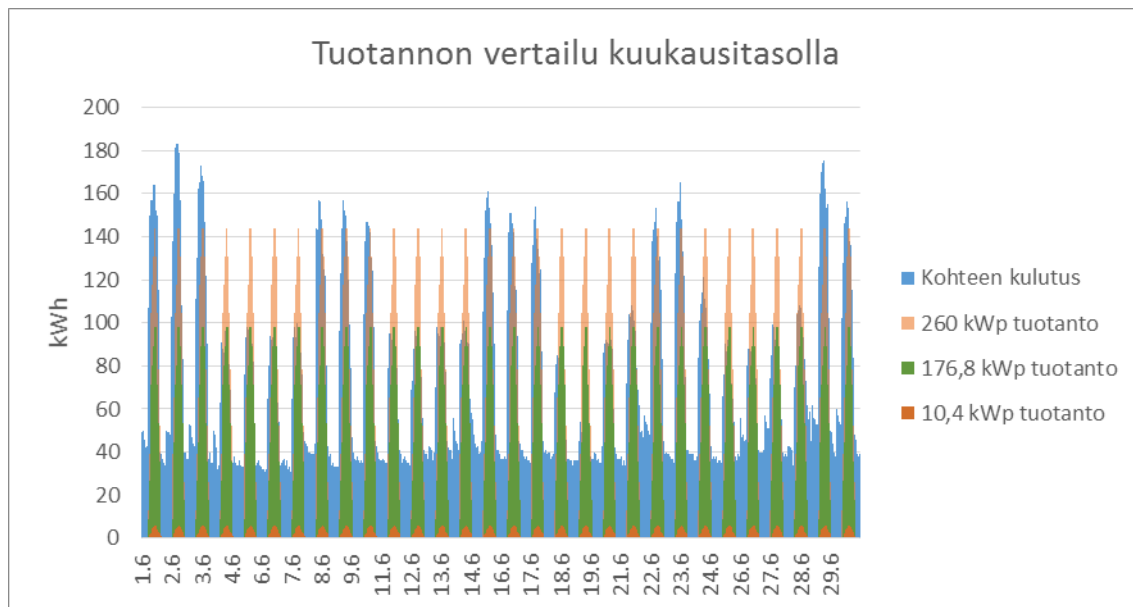
Järjestelmällä saadaan säästettyä vuodessa hintaa 85 €/MWh käyttäen $85 \text{ €/MWh} \times 171,0 \text{ MWh} \approx 14\,540 \text{ €}$. Ilman järjestelmän huoltoa tai invertterin vaihtoa, takaisinmaksuajaksi saadaan $145\,860 \text{ €} / 14\,540 \text{ €} \approx 10,0$ vuotta. Ilman energiatukea takaisinmaksuaika tässä tilanteessa olisi $194\,480 \text{ €} / 14\,540 \text{ €} \approx 13,4$ vuotta.

Vertailuna alempaa hintaa 70 €/MWh käyttäen vuodessa säästetään $70 \text{ €/MWh} \times 171,0 \text{ MWh} \approx 11\,970 \text{ €}$. Näin ollen takaisinmaksuajaksi ilman järjestelmän huoltoa saadaan $145\,860 \text{ €} / 11\,970 \text{ €} \approx 12,2$ vuotta ja ilman energiatukea $194\,480 \text{ €} / 11\,970 \text{ €} \approx 16,2$ vuotta.

Vuosittaisen huoltokierroksen hinnaksi voidaan laskea näin pienellä järjestelmällä esimerkiksi 300 € ja invertterien vaihdon hinnaksi noin $17\,680 \text{ €}$. Takaisinmaksuajaksi saadaan yllä mainitut huomioiden $11,9$ vuotta. Ilman energiatukea se olisi $15,2$ vuotta. Vertailuna hinnalla 70 €/MWh takaisinmaksuajaksi saadaan $14,4$ vuotta ja ilman energiatukea $18,5$ vuotta.

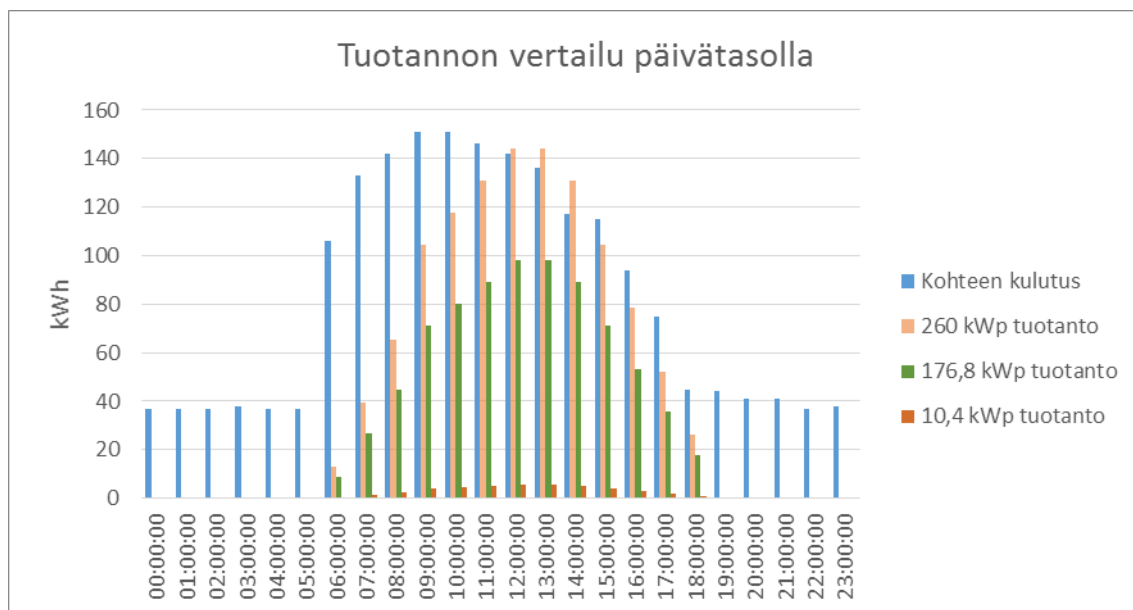
4.3 Tulokset

Kuvassa 21 on vertailuna järjestelmien tuoton ja kohteen kulutuksen kohtaaminen kesäkuussa laskelmien perusteella.



Kuva 21. Tuoton vertailu kuukausitasolla.

Kuvasta 21 voidaan havaita, ettei 10,4 kWp:n järjestelmä tuota ylituotantoa ja 260 kWp:n järjestelmällä tulee enemmän ylituotantoa kuin 176,8 kWp:n järjestelmällä. Kuvasta 22 voidaan havaita järjestelmien tuoton erot paremmin, kun tarkastellaan järjestelmien tuottoa päivätasolla. Päivämääräksi valittiin 16.6., jolloin kohteessa on normaali arkipäivän kulutus ja järjestelmien tuotanto on hyvä.



Kuva 22. Tuoton vertailu päivätasolla.

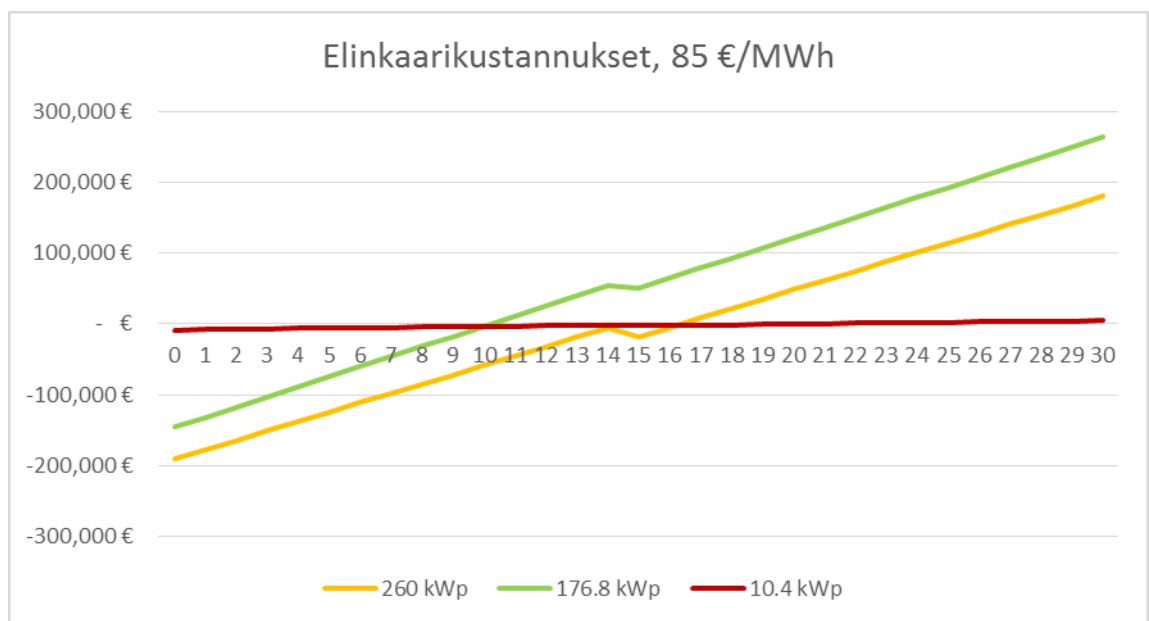
260 kWp:n järjestelmä pienentää 30 vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöjä sähkönkulutuksesta $209 \text{ kg CO}_2 / \text{MWh} \times 30 \times 159,3 \text{ MWh} \approx 998\,810 \text{ kg CO}_2$. Henkilöauton ajokilometreissä tämä vastaa keskimääräistä $167 \text{ g CO}_2 \text{ ekv} / \text{km}$ päästökerrointa käyttäen $998\,810 \text{ kg CO}_2 / 0,167 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv} / \text{km} \approx 5\,980\,900 \text{ km}$ ajokilometrin säästöä (33). Järjestelmä säästää 30 vuoden aikana sähköä yhteensä $4\,779 \text{ MWh}$, ja ylituotantoa syntyy 384 MWh . Järjestelmä tuottaa elinkaarensa aikana 85 €/MWh hintaa käyttäen $4\,779 \text{ MWh} \times 85 \text{ €/MWh} + 384 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} - (191\,100 \text{ €} + 26\,000 \text{ €} + [30 \times 300 \text{ €}]) \approx 187\,800 \text{ €}$. Vertailuna hintaa 70 €/MWh käyttäen järjestelmä tuottaa elinkaarensa aikana $4\,779 \text{ MWh} \times 70 \text{ €/MWh} + 384 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} - (191\,100 \text{ €} + 26\,000 \text{ €} + [30 \times 300 \text{ €}]) \approx 116\,110 \text{ €}$.

10,4 kWp:n järjestelmä pienentää 30 vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöjä sähkönkulutuksesta $209 \text{ kg CO}_2 / \text{MWh} \times 30 \times 6,9 \text{ MWh} \approx 43\,263 \text{ kg CO}_2$. Ajokilometreissä tämä vastaa $43\,263 \text{ kg CO}_2 / 0,167 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv} / \text{km} \approx 259\,060 \text{ km}$ ajokilometrin säästöä. Järjestelmä säästää 30 vuoden aikana sähköä yhteensä 207 MWh ja tuottaa elinkaarensa aikana $207 \text{ MWh} \times 85 \text{ €/MWh} - (8\,580 \text{ €} + 1\,560 \text{ €} + [30 \times 100 \text{ €}]) \approx 4\,455 \text{ €}$. Vertailuna hintaa 70 €/MWh käyttäen järjestelmä tuottaa elinkaarensa aikana $207 \text{ MWh} \times 70 \text{ €/MWh} - (8\,580 \text{ €} + 1\,560 \text{ €} + [30 \times 100 \text{ €}]) \approx 1\,350 \text{ €}$.

176,8 kWp:n järjestelmä pienentää 30 vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöjä sähkönkulutuksesta $209 \text{ kg CO}_2 / \text{MWh} \times 30 \times 171,0 \text{ MWh} \approx 1\,072\,170 \text{ kg CO}_2$. Ajokilometreissä tämä vastaa $1\,072\,170 \text{ kg CO}_2 / 0,167 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv} / \text{km} \approx 6\,420\,180 \text{ km}$

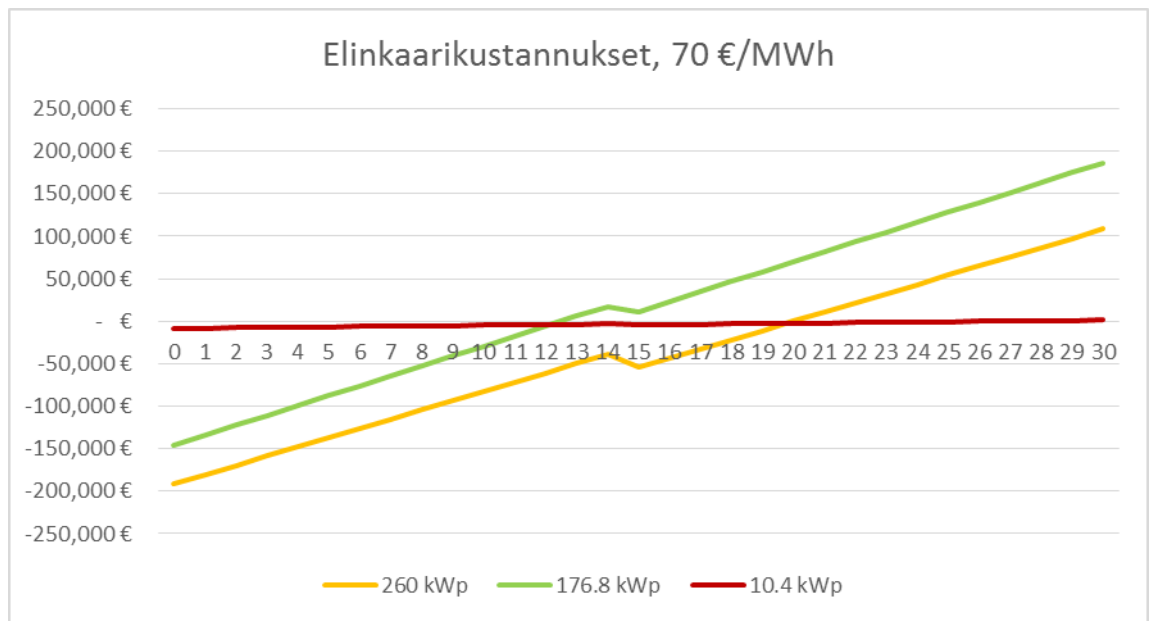
ajokilometrin säästöä. Järjestelmä säästää 30 vuoden aikana sähköä yhteensä 5 130 MWh ja ylituotantoa syntyy 33 MWh. Järjestelmä tuottaa elinkaarensa aikana hintaa 85 €/MWh käyttäen $5\,130 \text{ MWh} \times 85 \text{ €/MWh} + 33 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} - (145\,860 \text{ €} + 17\,680 \text{ €} + [30 \times 300 \text{ €}]) \approx 264\,170 \text{ €}$. Vertailuna hintaa 70 €/MWh käyttäen järjestelmä tuottaa elinkaarensa $5\,130 \text{ MWh} \times 70 \text{ €/MWh} + 33 \text{ MWh} \times 20 \text{ €/MWh} - (145\,860 \text{ €} + 17\,680 \text{ €} + [30 \times 300 \text{ €}]) \approx 187\,220 \text{ €}$.

Kuvasta 23 nähdään optimaalisimman 176,8 kWp:n järjestelmän tuottavan eniten elinkaarensa aikana sekä omaavan lyhyen takaisinmaksuajan verrattuna 10,4 kWp:n ja 260 kWp:n järjestelmiin.



Kuva 23. Järjestelmien elinkaarikustannukset laskettuna sähkönhintana 85 €/MWh.

Sama asia voidaan havaita kuvasta 24 vertailuna sähkönhintaa 70 €/MWh käyttäen.



Kuva 24. Järjestelmien elinkaarikustannukset laskettuna sähköhintana 70 €/MWh.

5 Yhteenveto

Aurinkosähköjärjestelmät yleistyvät maailmalla kovaa vauhtia, ja uudenlaisia ratkaisuja järjestelmien parantamiseksi keksitään vauhdilla, sillä aurinkosähköllä ei ole toistaiseksi vielä lyhyttä takaisinmaksuaikaa. Kuitenkin tulevaisuudessa on odotettavissa sähköhinnan nousu sekä järjestelmien halpeneminen, jolloin investoinnista tulee kannattavampaa.

Vaikka 260 kWp:n ja 176,8 kWp:n järjestelmät maksavat itsensä takaisin kohtuullisessa ajassa, on 176,8 kWp:n järjestelmä tämänhetkisin hinnoin kustannustehokkain ratkaisu. 176,8 kWp:n järjestelmällä tuotanto ja kulutus kohtaavat paremmin kuin 10,4 kWp:n ja 260 kWp:n järjestelmillä. 260 kWp:n järjestelmä maksaa enemmän sekä täyttää kohteen kattopinnan melkein kokonaan, minkä vuoksi katon tulevat huollot ovat hankalampia, kun paneeleita täytyy nostaa alas, jotta saadaan työskentelytilaa. Optimaalisessa 176,8 kWp:n järjestelmässä paneeleita voidaan siirtää väliaikaisesti toisiin kohtiin kattoa ja suorittaa huolto. Kuitenkin 260 kWp:n järjestelmä on varteenotettava vaihtoehto, kun mukaan huomioidaan mahdollinen sähköhinnan nousu tulevaisuudessa sekä järjestelmien kustannusten laskeminen.

Tarkasteltaessa järjestelmien kannattavuutta elinkaarikustannuksien kautta 176,8 kWp:n järjestelmä on laskelmien perusteella tässäkin tapauksessa kannattavin. 176,8 kWp:n järjestelmä tuottaa sähkönhinnalla 85 €/MWh 30 vuoden aikana 264 170 €. Tämä on 76 370 € enemmän kuin 260 kWp:n järjestelmällä ja 259 715 € enemmän kuin 10,4 kWp:n järjestelmällä. Sähköhinnan vertailuna 70 €/MWh 176,8 kWp -järjestelmä tuottaa 30 vuoden aikana 187 220 €. Tämä tarkoittaa 71 110 € enemmän kuin 260 kWp -järjestelmällä ja 185 870 € enemmän kuin 10,4 kWp -järjestelmällä.

Lähteet

1. Energy Revolution. XXI century. Reset. 2012. Verkkodokumentti. Russian International Affairs Council. <<http://russiancouncil.ru/en/analytics-and-comments/analytics/energy-revolution-xxi-century-reset/>>. Päivitetty 9.7.2012. Luettu 24.3.2017.
2. Pariisin ilmastopöytäkirja. 2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/pariisi2015>>. Päivitetty 16.11.2016. Luettu 29.3.2017.
3. 2016. Key world energy statistics. Ranska : International Energy Agency.
4. Energian hankinta ja kulutus 2015. 2016. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/ehk/2015/ehk_2015_2016-12-07_fi.pdf. ISSN 1796-0479>. Päivitetty 7.12.2016. Luettu 2.4.2017.
5. Energiavuosi 2016. 2017. Verkkodokumentti. Energiatieto Oy. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_-_sahko.html>. Päivitetty 23.1.2017. Luettu 23.3.2017.
6. Aurinkoenergia. 2010. Verkkodokumentti. Suntekno Oy. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. Päivitetty 15.4.2010. Luettu 13.10.2016.
7. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. 2010. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Päivitetty 10.10.2010. Luettu 7.11.2016.
8. Naam, Ramez. The Exponential Gains in Solar Power per Dollar. 2011. Verkkodokumentti. <<http://rameznaam.com/2011/03/17/the-exponential-gains-in-solar-power-per-dollar/>>. Päivitetty 17.3.2011. Luettu 13.12.2016.
9. Tuotantotuki. 2017. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<https://www.energiavirasto.fi/tuotantotuki1>>. Päivitetty 2017. Luettu 6.4.2017.
10. Ylijäämäsähkön myynti. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti>. Päivitetty 12.7.2016. Luettu 2.3.2017.
11. Sähkön pientuotanto – ostamme ylijäämäsähkösi. 2017. Verkkodokumentti. Vattenfall Oy. <<https://www.vattenfall.fi/fi/omatuotanto.htm>>. Päivitetty 2017. Luettu 2.3.2017.
12. World Energy Resources 2016. 2016. Verkkodokumentti. World Energy Council. <<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>>. Päivitetty 3.10.2016. Luettu 2.2.2017.
13. Ryhdy aurinkosähkön tuottajaksi. 2017. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/sahko/kodit/aurinkosahko/>>. Päivitetty 2017. Luettu 6.4.2017.

14. Pukkila, Tapio. Nakkilan aurinkovoimala hyytyi – Raumalle odotetaan valtion tukipäätöstä. 2016. Verkkodokumentti. Yleisradio Oy. <<http://yle.fi/uutiset/3-9324488>>. Päivitetty 30.11.2016. Luettu 6.4.2017.
15. Aurinkovoimala. Verkkodokumentti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.lut.fi/green-campus/vihrea-energia-ja-teknologia/alykas-sahkoverkko-smart-grid/aurinkovoimala>>. Luettu 8.4.2017.
16. Virtanen, Sofia. 503 kW, 1600 paneelia – Suomen suurin kiinteistökohtainen aurinkovoimala nousee Vantaalle 2 kuukaudessa. 2016. Verkkodokumentti. Tekniikka & talous. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/503-kw-1600-paneelia-suomen-suurin-kiinteistokohtainen-aurinkovoimala-nousee-vantaalle-2-kuukaudessa-6545273>>. Päivitetty 27.4.2016. Luettu 12.12.2016.
17. Rakennukset ja kesämökit. 2015. Verkkodokumentti. Suomen virallinen tilasto . <http://www.stat.fi/til/rakke/2015/rakke_2015_2016-05-26_tau_002_fi.html. ISSN=1798-677X>. Päivitetty 2015. Luettu 8.4.2017.
18. Kekkonen, Alpo. 2014. Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen. Luentomoniste. Oulun Ammattikorkeakoulu.
19. Aurinkoenergiaopas. 2013. Verkkodokumentti. Finnwind Oy. <<http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>>. Päivitetty 1.2.2013. Luettu 12.12.2016.
20. Kämpylehto, Janne. Aurinkosähköilta. 2016. Verkkodokumentti. <<http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/wordpress/wp-content/uploads/2016/02/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6ilta-k%C3%A4pylehto.pdf>>. Päivitetty 2016. Luettu 4.2.2017.
21. 2014. Auringonsäteily Helsingin Östersundomissa. Helsinki: Ilmatieteenlaitos.
22. Kämpylehto, Janne. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki : Into Kustannus.
23. 2017. Finnwind Oy, Vantaa. Aurinkosähkökoulutus. Koulutus 23.2.2017.
24. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. 2017. The Joint Research Centre. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>. Päivitetty 2017. Luettu 8.4.2017.
25. Yli-Parkas, Hanne. Julkisivu aurinkopaneeleista. 2016. Verkkodokumentti. Turun Sanomat. <<http://www.ts.fi/uutiset/paikalliset/853509/Julkisivu+aurinkopaneeleista>>. Päivitetty 10.3.2016. Luettu 29.3.2017.
26. Plusenergiehaus in Berlin. 2017. Verkkodokumentti. Sto Oy. <http://www.sto.de/de/topnav/presse/pressemeldungen_38297.html>. Päivitetty 2017. Luettu 30.3.2017.

27. Virtanen, Jaakko. Meidän tarinamme. Verkkodokumentti. Virte Solar Oy. <<http://www.virtesolar.fi/meidan-tarinamme>>. Luettu 8.4.2017.
28. 2014. Technology Roadmap. International Energy Agency. Pariisi : IEA Publications.
29. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. 2017. Verkkodokumentti. Finnwind Oy. <<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>>. Päivitetty 2017. Luettu 23.3.2017.
30. Auvinen, Karoliina. 2015. Hankinta- ja rahoitusmallien vertailua. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
31. Energiatuki. 2017. Verkkodokumentti. Tekes. <<https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>>. Päivitetty 2017. Luettu 27.3.2017.
32. Tuen enimmäismäärät. 2017. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<http://tem.fi/tuen-enimmaismaarat>>. Päivitetty 2017. Luettu 9.3.2017.
33. 2016. Hallituksen esitys eduskunnalle valtion talousarvioksi vuodelle 2017. Valtiovarainvaliokunta. 32.60.40. Energiatuki (arviomääräraha). Helsinki : Edita Prima Oy.
34. Mäkelä, Kari. 2012. Henkilöautot keskimäärin. Verkkodokumentti. VTT Oy. <<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hakeskim.htm>>. Päivitetty 7.8.2012. Luettu 13.4.2017.